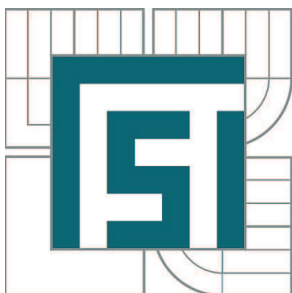


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY TĚLESA SVĚTLOMETU

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR HEADLAMP BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADEK PYTLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Radek Pytlík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technologie výroby tělesa světlometu

v anglickém jazyce:

Design of manufacturing technology for headlamp body

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastové těleso světlometu automobilu podložený kontrolními výpočty a doplněný technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

1. ŠTĚPEK, Jiří, Jiří, ZELINGER a Antonín, KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
2. SOVA, Miloš a Josef, KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
3. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
4. MENGES, Georg and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia předkládá návrh technologie výroby tělesa světlometu z vysokoteplotního polykarbonátu Apec 1695 o tloušťce stěny 1,8 mm. Velikost výrobní série je stanovena na 100 000 ks/rok. Na základě literární studie problematiky vstřikování plastů a také na základě výpočtů bylo navrženo vstřikování ve vstřikovacím nástroji s vyhřívanou vstřikovací tryskou. Pro výrobu plastového tělesa světlometu je použitý vstřikovací lis Allrounder 630 S 2500 – 800 od firmy Arburg.

Klíčová slova

plasty, vstřikovací forma, světlomet, termoplasty, výrobek

ABSTRACT

The project developed within the Master's degree is proposing a technology of manufacturing a headlight housing from the high temperature polycarbonate Apec 1695 with wall thickness of 1.8 mm. The batch size is set at 100,000 units / year. Based on literature studies of injection moulding and also on the calculation method, the injection moulding tool with the heated injector has been proposed. The injection moulding machine Allrounder 630 S 2500-800 from Arburg is used for the production of the plastic headlight housing.

Key words

plastics, injection mold, headlight, thermoplastics, product

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PYTLÍK, Radek. *Návrh technologie výroby tělesa světlometu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 83 s, 3 výkresy, 4 přílohy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci na téma **Návrh technologie výroby tělesa světlometu** jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....
Bc. Radek Pytlík

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Automotive Lighting s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce, poskytnutí potřebných dokumentů a konzultací. V neposlední řadě bych také rád poděkoval svým rodičům a rodině za podporu v průběhu celého studia a možnost studovat na VUT v Brně.

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List
---------	-----------------	------

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR ŘEŠENÉHO TĚLESA SVĚTLOMETU.....	10
1.1 Představení společnosti Automotive Lighting s.r.o.....	11
1.2 Volba vhodné výrobní technologie.....	11
2 PLASTY.....	14
2.1 Základní rozdělení plastů.....	14
3 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	19
3.1 Popis jednotlivých časů vstřikovacího procesu.....	21
3.1.1 Doby strojní.....	21
3.1.2 Doba plnění dutiny formy.....	21
3.1.3 Doba dotlaku.....	22
3.1.4 Doba plastikace dávky plastu.....	22
3.1.5 Doba chlazení výstřiku.....	22
3.2 Parametry ovlivňující kvalitu výrobku.....	23
3.2.1 Vliv druhu použitého materiálu.....	23
3.2.2 Vliv technologických parametrů.....	24
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	26
4.1 Vtokový systém.....	29
4.1.1 Studený vtokový systém.....	29
4.1.2 Vyhřívaný vtokový systém.....	31
4.2 Temperační systém.....	32
4.3 Odvzdušnění forem.....	33
4.4 Vyhazovací systém.....	33
5 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	35
5.1 Vstřikovací jednotka.....	35
5.2 Uzavírací jednotka.....	36
5.3 Řízení a regulace stroje.....	37
6 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI.....	38
6.1 Konstrukčně technologické výpočty.....	39
6.2 Konstrukce vstřikovacího nástroje.....	45
6.2.1 Vtokový systém.....	46
6.2.2 Vyhazovací zařízení.....	47
6.2.3 Temperační systém.....	48
6.2.4 Odvzdušnění.....	49
6.2.5 Konstrukční úpravy.....	49
6.3 Technologická analýza.....	50
6.3.1 Proces plnění.....	50
6.3.2 Vstřikovací tlak.....	52
6.3.3 Čas k dosažení teploty pro vyhození výstřiku.....	52

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List
---------	-----------------	------

6.3.4 Celková deformace	55
6.4 Volba stroje	56
6.5 Technologický postup	57
7 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	59
8 ZÁVĚR	64
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
SEZNAM PŘÍLOH	
SEZNAM VÝKRESŮ	

ÚVOD

Současné rozsáhlé uplatnění plastových materiálů při konstrukci a výrobě automobilů (obr. 1) je v první řadě výsledkem sladění speciálních požadavků konstrukce a technologie výroby automobilů se zvláštními materiálovými vlastnostmi plastů a technologií jejich zpracování. Aplikace plastů je právě v automobilovém průmyslu ekonomicky nejefektivnější ze všech polí působnosti strojírenské výroby, a i díky tomu je toto průmyslové odvětví jedním z jejich nejvýznamnějších odběratelů [1].

Specifičností použití plastů v automobilovém průmyslu ve srovnání s kovovými materiály je, že automobilky tyto materiály samy nezpracovávají. Téměř celý objem spotřeby plastů na výrobu dílů automobilů je v současné době zpracováván specializovanými závody a ve formě hotových výrobků je dodáván do automobilek. Konkurence mezi dodavatelskými firmami umožňuje automobilkám udržovat vysokou kvalitu plastových dílců a současně minimalizovat cenu výrobků. Právě cena a kvalita výrobků je pro zpracovatele plastů hnací silou vývoje nových materiálů (vyšší užitné vlastnosti) a efektivnějších technologií [1].

Mezi nejvýraznější výhody plastů patří nízká měrná hmotnost a dobré zpracovatelské vlastnosti. Plasty mají výbornou korozní odolnost, jsou elektrické izolanty a tlumí chvění a rázy. Nevýhodami jsou zejména ekologická zatížitelnost a nízké mechanické a časově závislé vlastnosti [2].

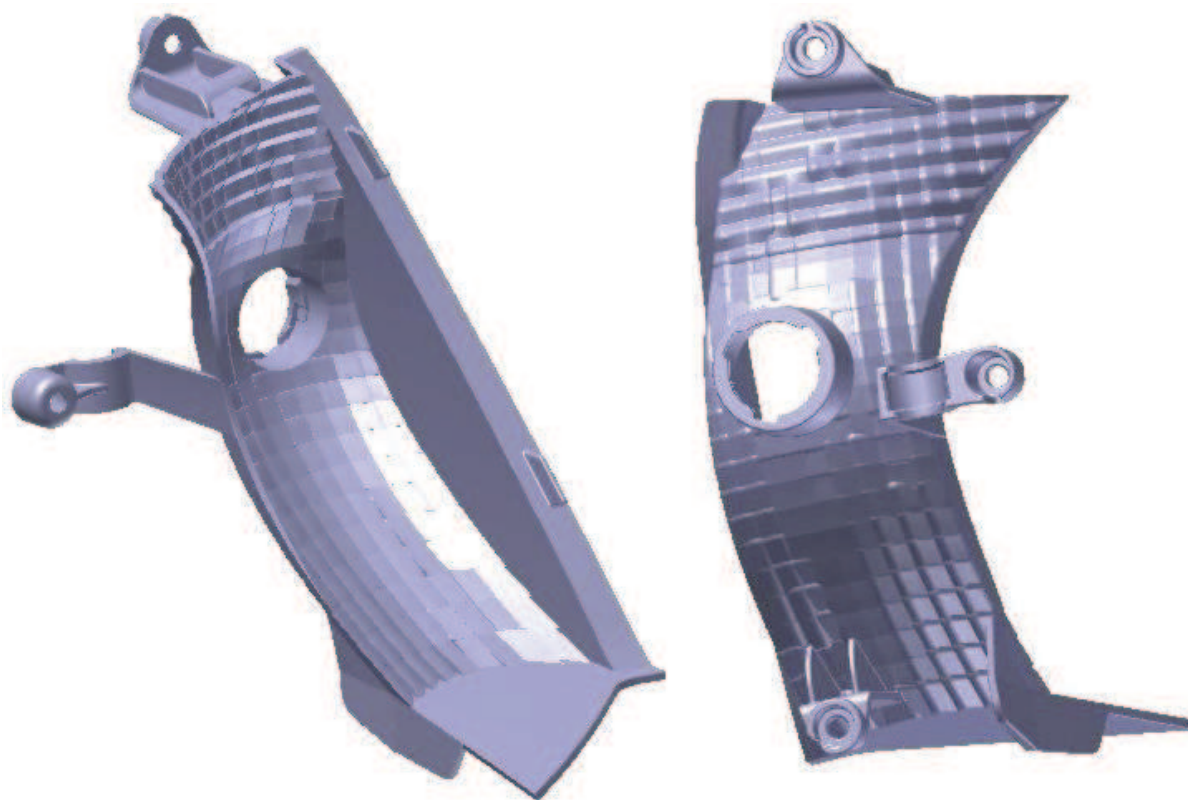
V této diplomové práci bude řešena vhodná technologie, návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy pro výrobu plastového tělesa světlometu automobilu.



Obr. 1 Plastové výrobky v automobilovém odvětví [3,4,5,6].

1 ROZBOR ŘEŠENÉHO TĚLESA SVĚTLOMETU

Vyráběnou součástí je plastové těleso světlometu automobilu (obr. 1.1). Velikost výrobní série vstříku je stanovena na 100 000 ks/rok (50 000 ks/rok pro pravou stranu světlometu, 50 000 ks/rok pro levou stranu světlometu). Plastové těleso bude tvořit základnu světlometu. Jeho funkčnost bude spočívat především v upevnění celého světlometu ke karosérii automobilu. Také bude nést ostatní prvky, důležité ke správné funkčnosti sestavy. Výlisek bude zhotoven z vysokoteplotního polykarbonátu o tloušťce stěny 1,8 mm. Materiálem je polykarbonát Apec 1695 od firmy Bayer. Je to materiál snadno vstřikovatelný a znovutvářitelný, vhodný k výrobě světlometů.



Obr. 1.1 Plastové těleso světlometu automobilu [7].

1.1 Představení společnosti Automotive Lighting s.r.o.

Společnost Automotive Lighting s.r.o. (logo obr. 1.2) je největším výrobcem automobilových světlometů v Evropě, sídlící v jihlavské průmyslové zóně Pávov (obr. 1.3). Založena byla v roce 1997, původně pod firmou Bosch. V roce 1999 do firmy vstoupila společnost Magneti Marelli (společnost je součástí koncernu Fiat Chrysler Automobiles), a od roku 2003 je jejím výhradním vlastníkem [7,8].



Obr. 1.2 Logo společnosti [9].

V Jihlavě se vyrábí a vyvíjí nejmodernější přední světlomety. Výsledkem práce jsou nejlepší systémová řešení a kvalitní výrobky, které získávají ocenění na světovém trhu. Mezi zákazníky společnosti patří automobilky BMW, Mercedes, VW, Škoda, Renault, Honda, Peugeot, Porsche a mnoho dalších [7].



Obr. 1.3 Výrobní závod Automotive Lighting s.r.o. Jihlava [9].

1.2 Volba vhodné výrobní technologie

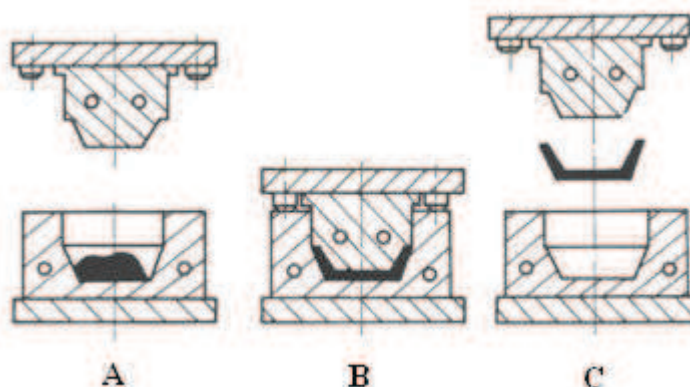
Výrobu tělesa světlometu lze realizovat několika možnými způsoby. Výlisek je možno vyrábět technologií lisování, přetlačování nebo technologií vstřikování.

❖ Lisování plastů

Lisování je jeden ze způsobů tváření plastů ve vytápěné (ocelové) formě. Pro dosažení požadovaného tvaru se na materiál působí tlakem nástroje. Základními technologickými parametry lisování plastů jsou vytvrzovací doba, tlak a teplota lisování. Doba vytvrzování se pohybuje v rozmezí 1 – 1,5 min na 1 mm tloušťky stěny výrobku. Lisovací tlak bývá v rozmezí 10 – 60 MPa a teplota lisování je v intervalu od 130 do 190 °C [2].

Lisovací postup (obr. 1.4) je následující: prášek (tableta, kašovitá hmota, apod.) o přesně určeném objemu se vloží do dutiny nástroje. Důsledkem kontaktu vyhřívané formy s plastem

dochází k plastikaci a tlakem tvárníku se jednak zaplní tvarová dutina formy a jednak dojde k dokončení plastikace. Dalším krokem je snížení lisovacího tlaku a pootevření formy (tento krok je důležitý z hlediska odplynění taveniny plastu). V materiálu proběhne vytvrzování. Po vytvrzení se otevře forma, vyjme se výlisek a nástroj se očistí. Hlavní nevýhoda spočívá v dávkovací hmotě. Tablety mají omezené použití pouze pro daný typ výrobku (objem tablety se musí změnit při změně objemu výrobku). Kašovitá hmota zase zatěžuje okolí prachem. Další nevýhodou je výroba pouze tvarově jednodušších dílců a vznik přetoků (přebytečná hmota na výrobku), které se musí odstranit [2].

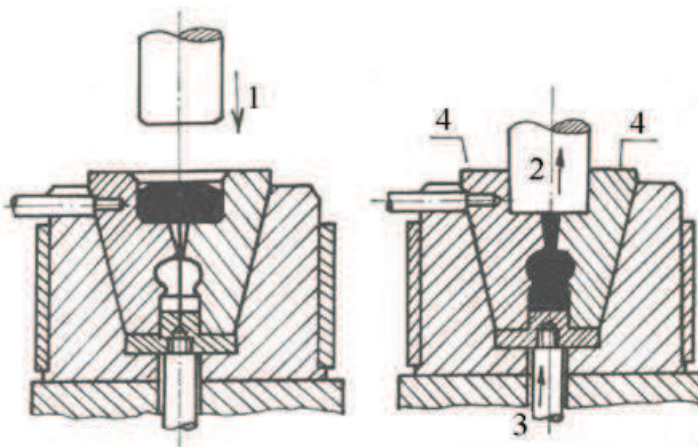


Obr. 1.4 Princip lisování plastů [2].

A - vložení dávkovací hmoty do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyjmutí výlisku.

❖ Přetlačování plastů

Přetlačování je jeden ze základních technologických způsobů pro zpracování plastů. Dávka plastu se nekládá přímo do tvarové dutiny formy. Vkládá se do pomocné dutiny formy, ze které je po zplastikování přetlačena tlakem do vlastní dutiny formy. Tato technologie se používá pro výrobu složitějších tvarů výlisků, pro výlisky se zálsky, apod. Vyrobený dílec nemá přetoky (oproti lisování), ale poměrně velké množství hmoty zůstává v pomocné dutině a ve vtokovém systému formy (objem dávky se musí navýšit oproti objemu konečného výlisku). Přetlačovací tlak bývá v rozmezí 50 – 100 MPa. Oproti lisování je doba vytvrzování kratší, ale v důsledku většího počtu operací (složitá konstrukce formy) je celková doba přetlačování (cyklus) delší. Princip přetlačování plastů je uveden na obr. 1.5 [2].

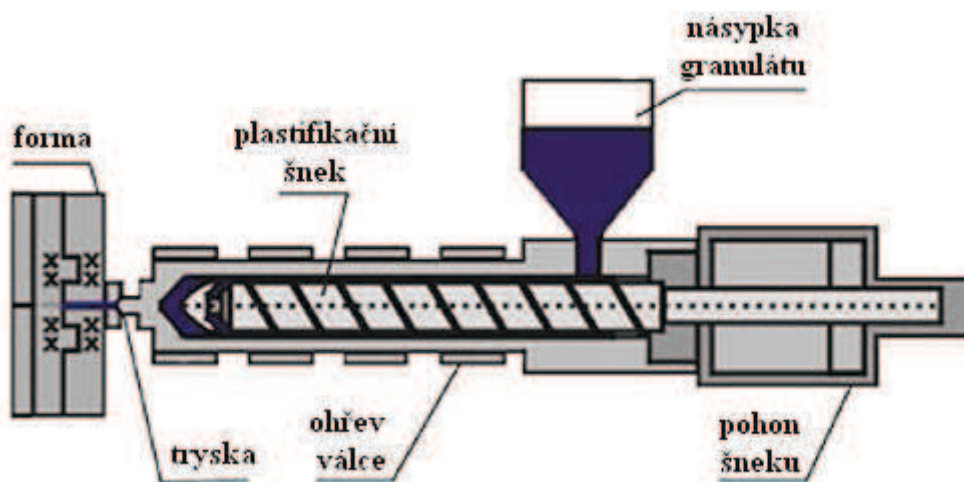


Obr. 1.5 Princip přetlačování plastů [2].

1 – přetlačení plastu, 2 – pohyb tvárníku, 3, 4 – vyhození výrobku.

❖ Vstřikování plastů

Technologie vstřikování plastů je nejrozšířenější technologií pro zpracování plastových výrobků. Touto technologií lze zpracovávat prakticky všechny druhy termoplastů. Výstřiky vyrobené vstřikováním se vyznačují výbornou tvarovou a rozměrovou přesností. Vstřikování plastů je způsob tváření, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu (tavenina) vstříknuta do uzavřené dutiny formy (kovové). Uvnitř formy tuhne ve finální výrobek. Dalším krokem je otevření formy a vyhození výstřiku z dutiny formy (vzduchem, mechanicky, nebo jiným způsobem). Výhody u vstřikování jsou konstrukční flexibilita (umožňuje odstranění konečných úprav povrchu), krátký časový cyklus výroby dílce a schopnost vyrábět výlisky složitějších tvarů s dobrými rozměrovými tolerancemi. Hlavní nevýhodou jsou vysoké investiční náklady a dlouhá doba potřebná k výrobě vstřikovací formy. Obecné schéma vstřikování plastů je zobrazeno na obr. 1.6 [2].



Obr. 1.6 Schéma vstřikování plastů [10].

Z uvedených technologií pro výrobu plastového tělesa světlometu je vzhledem k tvarové složitosti dílce, výrobní sériovosti, úspoře zpracovávaného materiálu, délce výrobního cyklu a požadavkům na rozměrovou přesnost nejvhodnější technologie vstřikování plastů. V další části diplomové práce bude na toto téma vypracovaná teoretická část.

2 PLASTY

Technologie zpracování plastů je jednou z hlavních stavebních kamenů lidské činnosti. Neustále rostou požadavky na finanční zatížení v poli působnosti náhrady drahých materiálů těmi levnějšími, a dále pak zejména na kvalitu. Současně se vyhledávají možnosti růstu uplatnění ve všech možných směrech působnosti. Plasty jsou výhodné především v tom, že je zde možnost při procesu zpracování materiál různě barvit (a tím docílit již při výrobě žádaného zabarvení). Ve většině situací tak odpadá nezbytnost další úpravy povrchu. Také značná úspora hmotnosti materiálu (oproti výrobkům vyrobeným např. z barevných kovů nebo oceli) je velmi významnou výhodou. Hlavní prioritou technologie vstřikování plastů je především uplatnění ve velkosériové výrobě, jejíž rozsah výroby je tak rozsáhlý, že bychom adekvátní konkurenci hledali jen velmi obtížně [2,11].

2.1 Základní rozdělení plastů

V současnosti na trhu plastů existují tisíce odlišných druhů plastů. Avšak pouze jen několik desítek druhů plastů má zřetelné uplatnění v technické praxi. Z objemu celosvětové produkce plastů tvoří téměř 70 % výroby pouze tři druhy plastů (polyvinylchlorid, polyolefiny a styrenové hmoty). Pořád se zvětšuje sortiment termoplastů, jednak je to výroba stále nových polymerů a další variantou je modifikace stávajících polymerů [2].

Plasty lze dělit do několika základních kategorií dle různých hledisek [2,11,12]:

- **Rozdělení podle konstrukční složitosti výrobků:**

- ***Plastové výrobky pro široké spektrum použití***

- polystyrénové hmoty (PS),
 - fenolformaldehydové hmoty (PF),
 - polyvinylchlorid (PVC),
 - polyolefiny (PE, PP),
 - močovinoformaldehydové hmoty (UF).

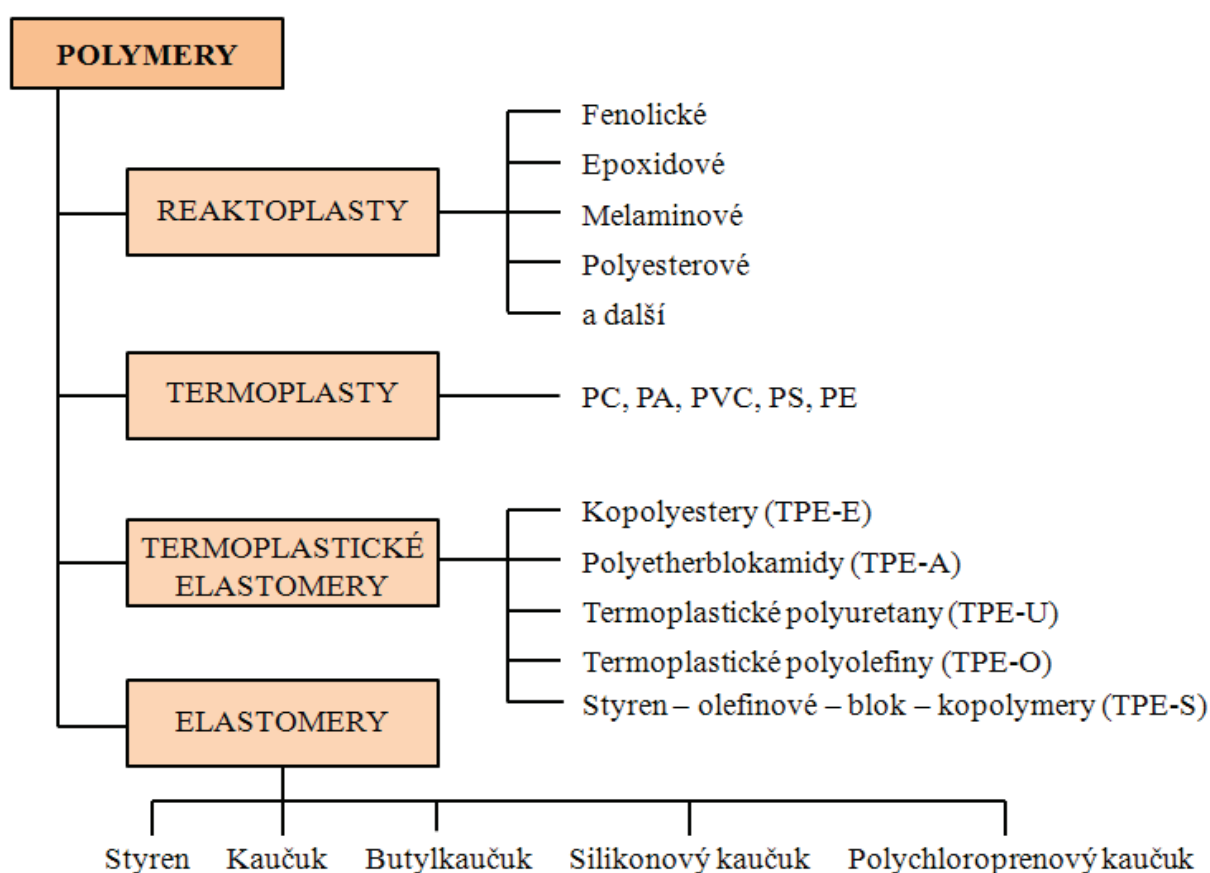
- ***Plastové výrobky pro inženýrské aplikace***

- polykarbonáty (PC),
 - epoxidové pryskyřice (EP),
 - polyesterové pryskyřice (UP),
 - polyoximetylen (POM),
 - polymethylmetakrylát (PMMA),
 - polyamidy (PA),
 - terpolymer (ABS),
 - polyuretan (PU),
 - polyfenilénoxid (PPO).

➤ *Plastové výrobky pro špičkové aplikace*

- polyimidy (PI),
- polysulfon (PSU),
- tetrafluoretylén (PTFE),
- polyfenylénsulfid (PPS),
- a další.

○ **Rozdělení podle teplotního chování (viz obr. 2.1):**



Obr. 2.1 Schéma rozdělení polymerů [2,11,12].

○ **Rozdělení podle molekulární struktury plastů:**

Plasty, neboli makromolekulární látky, jsou z chemického hlediska látky organické a jsou to látky o molekulové hmotnosti větší jak 10^4 . Základem každého polymeru je makromolekulární látka (syntetického nebo přírodního původu), tvářitelná za působení tlaku a teploty. V této makromolekulární látce se jako článek řetězu mnohonásobně opakuje hlavní monomerní jednotka. Atomy uhlíku (základní prvek řetězce) se vzájemně na sebe váží a vytváří dlouhé řetězce. V podstatě existují tři kategorie polymerních makromolekul (lineární, zesítěné a rozvětvené) [2].

➤ **Lineární makromolekuly**

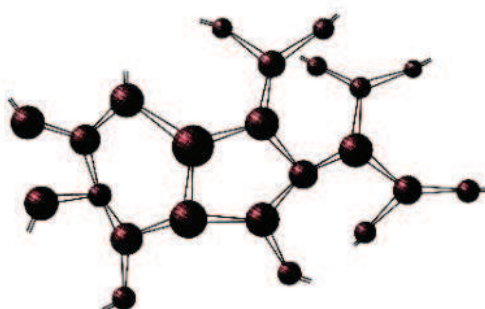
Lineární makromolekuly (obr. 2.2) se vytváří řazením jedné monomerní molekuly vedle druhé. Polymery s lineárními makromolekulami bývají velmi dobře tavitelné a rozpustné. Vyznačují se výbornou zpracovatelností a houževnatostí [2].



Obr. 2.2 Lineární makromolekuly [13].

➤ **Zesítěné makromolekuly**

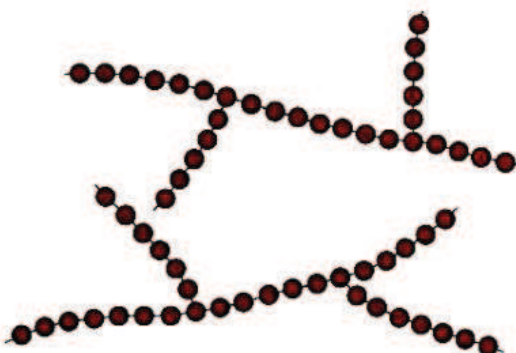
Zesítěné makromolekuly (obr. 2.3) jsou tvořeny několika přímými (nebo rozvětvenými), vzájemně propojenými, makromolekulárními řetězci. Díky tomu vytváří téměř nekonečnou makromolekulu. Vyznačují se dobrou odolností proti zvýšené teplotě, vysokou tuhostí a tvrdostí [2].



Obr. 2.3 Zesítěné makromolekuly [13].

➤ **Rozvětvené makromolekuly**

Rozvětvené makromolekuly (obr. 2.4) mají boční větve na základním řetězci. Oproti lineárním makromolekulám se nemohou jedna ke druhé vhodně přiblížit (vzhledem k tomu, že mají již zmiňované boční větve). A i díky tomu se vyznačují nižší hustotou a horšími mechanickými vlastnostmi [2].

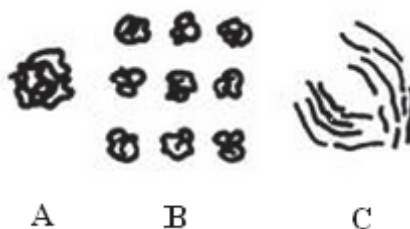


Obr. 2.4 Rozvětvené makromolekuly [13].

○ **Rozdělení podle nadmolekulární struktury plastů:**

➤ ***Amorfní struktura***

Je to struktura nepravidelného uspořádání (obr. 2.5), u které je globul (“klubičko“) základním morfologickým útvarem. Globuly (vytvořené ze stočených makromolekul) většinou nabývají velikosti 10 – 30 nm. Do této skupiny spadají PC, PS, PMMA, apod. [2,12].

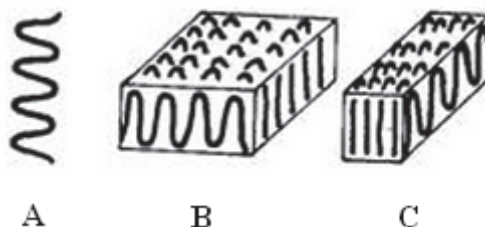


Obr. 2.5 Struktura amorfních polymerů [2].

A - globula, B – způsob uspořádání globul, C – svazek globul.

➤ ***Krystalická struktura***

Je to struktura s určitou mírou uspořádání (obr. 2.6), u které jsou fibrily a lamely základními morfologickými útvary. Do této skupiny spadají PA, PP, PE, POM, apod. [2].



Obr. 2.6 Struktura krystalických polymerů [2].

A - proužek, B – lamela, C – fibrila.

○ **Rozdělení podle druhu přísad:**

- ***Plasty neplněné*** - počet přidaných přísad neovlivní mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu.
- ***Plasty plněné*** - počet přidaných přísad ovlivní mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu. Příkladmi jsou:
 - stabilizátory,
 - barviva,
 - změkčovadla,
 - tvrdidla,
 - apod.

○ **Rozdělení podle původu:**

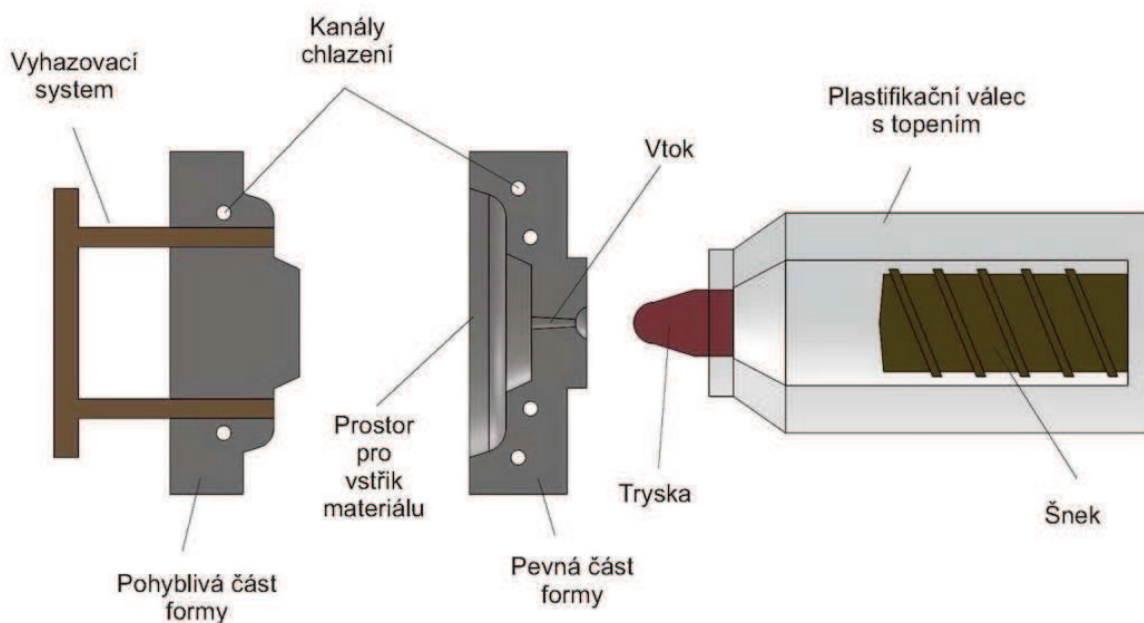
- ***Syntetické polymery*** – k výrobě syntetický polymerů se využívá cesty chemické.
- ***Přírodní polymery*** – tyto polymery jsou zřízeny na základě přírodních makromolekulárních látek.

3 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ

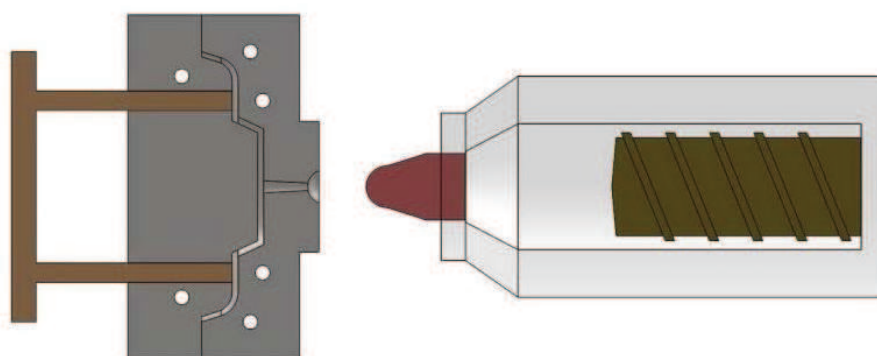
V první fázi procesu vstřikování (obr. 3.1) je plast, jenž bývá ve formě tzv. granulí vložen do násypky, ze které je odebírán pomocí šneku nebo pístu (pracovní část stroje). Tato pracovní jednotka vstřikovacího stroje dopravuje hmotu do tavicí komory. Při této fázi procesu se ještě zároveň uzavírá vstřikovací forma (obr. 3.2) a najíždí vstřikovací jednotka stroje ke vtokové hlavici formy (obr. 3.3). Hmotu za soudobého vlivu teploty a tření taje a vzniká tavenina (roztavený granulovaný materiál), která je následně za působení vysokého tlaku vstříknuta do uzavřené dutiny formy (obr. 3.4). Vstříknutý materiál vyplní dutinu a zaujme požadovaný tvar výrobku [1,2,11].

S ohledem na hmotnost a velikost výstřiku je potřeba nechat uzavřenou vstřikovací formu (fáze tlaková), aby se odebralo teplo z vylisku. Ochlazováním dojde k postupnému snížení smrštění, a následně ke ztuhnutí ve finální výrobek. Na časový interval chlazení má vliv jak tloušťka stěny výstřiku, tak i teplota formy [1,2,11].

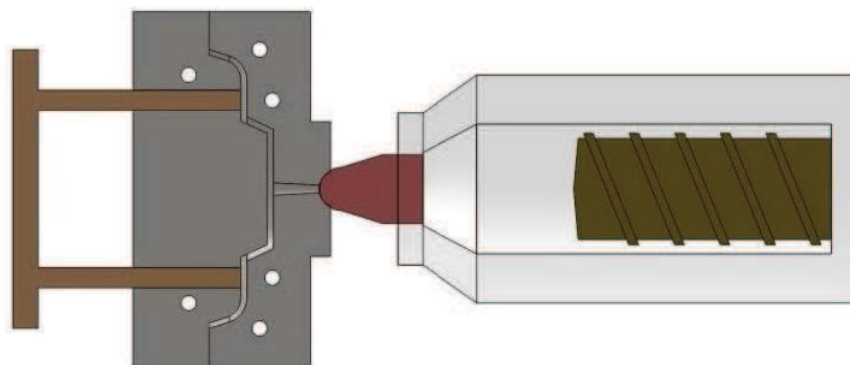
Dalším krokem je otevření formy (obr. 3.5) a vyhození výstřiku (vzduchem, mechanicky, nebo jiným způsobem) z dutiny formy (obr. 3.6). Následuje uzavření formy a celý cyklus se v krátkém časovém intervalu (řádově v jednotkách až desítkách sekund) opakuje [1,2,11].



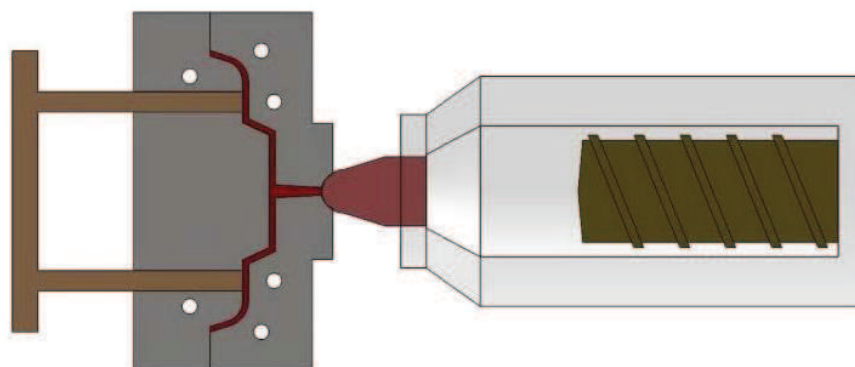
Obr. 3.1 Otevřená forma [11].



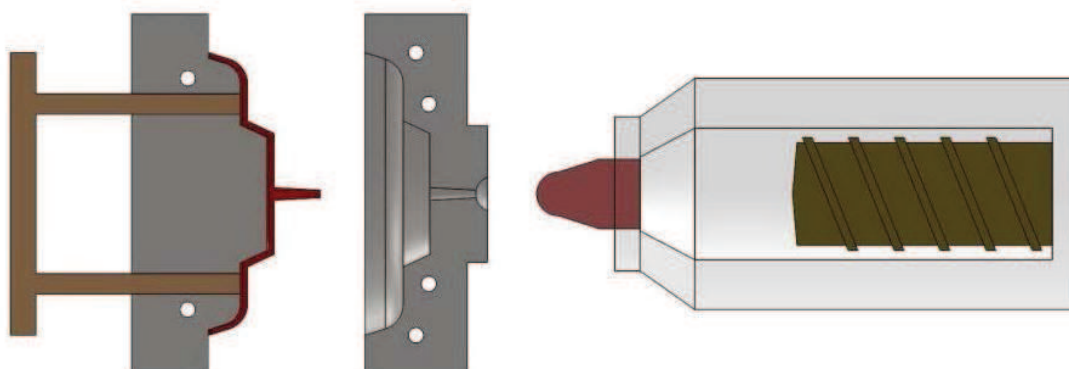
Obr. 3.2 Uzavření vstřikovací formy [11].



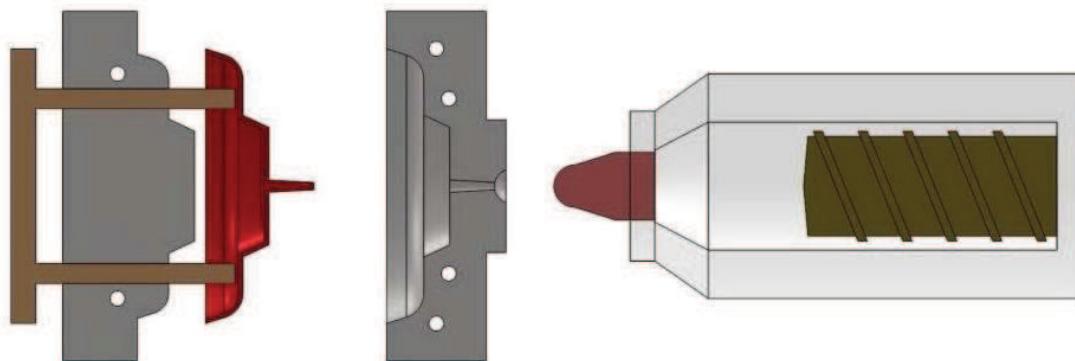
Obr. 3.3 Najetí vstříkovací jednotky [11].



Obr. 3.4 Vstříknutí materiálu do uzavřené dutiny formy [11].



Obr. 3.5 Otevření vstříkovací formy [11].



Obr. 3.6 Vyhození výstříku [11].

3.1 Popis jednotlivých časů vstřikovacího procesu

Při vstřikování plastů prochází jednotlivé fáze procesu rozdílnými časovými intervaly. Tyto časové rozdíly jsou ovlivněné kromě jiného především technologickými podmínkami a geometrií vyráběného dílce [1,2].

3.1.1 Doby strojní

Doba pro otevření formy a pro uzavření formy je závislá na dráze vstřikovací formy a na její rychlosti. Dráha potřebná pro otevření formy je závislá na rozměru vyráběného dílce. Musí být dostatečně velká, aby bylo zaručeno bezproblémové vyjmutí výstříku z formy. Aby byla výroba co nejefektivnější, je snaha strojní časy zkracovat na minimum. A to se provádí zvýšením rychlosti části vstřikovací formy, která se pohybuje [2,12].

Vstřikovací stroje bývají ve většině případů nastaveny tak, že je tato rychlost různá (při zavírání se pohyblivá část formy pohybuje rychle, ovšem těsně před uzavřením formy se sníží rychlost, aby se nepoškodila forma v důsledku prudkého nárazu). Také při otevírání vstřikovací formy je rychlost pohyblivé části formy větší a před dojezdem se rychlost z důvodů bezproblémového vyhození výlisku ubere. Celkový strojní čas výrobního procesu trvá jen pár sekund [2,12].

3.1.2 Doba plnění dutiny formy

Doba pro plnění dutiny vstřikovací formy je závislá na rychlosti pohybu šneku. A rychlost pohybu šneku se odvíjí od technologických podmínek (vstřikovací tlak, teplota taveniny, teplota formy, vtoková soustava, geometrie výrobku, materiál výrobku, apod.). U výrobků s vysokými požadavky na povrchovou kvalitu a přesnost výstříku je možnost programování průběhu vstřikovací rychlosti, která má velmi příznivé vlivy na makromolekulární orientaci, avšak je zde nebezpečí degradace a přehřátí materiálu [2,12].

Doba pro plnění dutiny formy musí být pokud možno co nejkratší. Tavenina se díky styku s formou (chlazenou) ochlazuje a přichází o svou tekutost. Při delším časovém úseku by se mohlo stát, že by nezaplnila celou dutinu formy (vznik nedostříknutého – vadného dílce). Také je velmi důležité, aby byl plnicí proces řízen správně, tedy aby vtékal materiál do

vstřikovací formy postupně – laminárním tokem. Nevhodnou variantou by bylo vtékání materiálu do formy tzv. volným tokem [2,12].

Při plnění dutiny formy laminárním tokem je teplota taveniny zhruba 3krát vyšší, než je teplota formy. A proto také tavenina díky kontaktu se stěnou dutiny formy velmi rychle tuhne a vytvoří nepohyblivou vrstvu hmoty a současně i vrstvu v podobě tepelné izolace. Uvnitř je jádro (plastické) s nízkou viskozitou, které přispívá k dalšímu průtoku taveniny plastu dutinou formy (tavenina se roztéká a směřuje ke stěnám, až dojde k úplnému vyplnění dutiny). Zakřivení čela a růst rychlosti plastického jádra je způsoben zvyšováním viskozity směrem ke stěně vstřikovací formy. Celkový plnicí čas výrobního procesu trvá od zlomku sekundy do pár málo sekund [2,12].

3.1.3 Doba dotlaku

Jakmile se naplní dutina vstřikovací formy, další fází je stlačení hmoty. Rychlost klesá a tlak velmi rychle stoupne. Nepřípustné by bylo, kdyby tlak zůstal na hodnotě původní. Způsobilo by to zvětšení výlisku, zvýšení hmotnosti a nežádoucí namáhání formy, které by mohlo způsobit prohnutí vstřikovací formy. Aby se předešlo těmto problémům, je třeba snížit v určitý moment vstřikovací tlak – přepnout na dotlak. V opačném případě (příliš brzké přepnutí) může dojít k neúplnému dostřiknutí výrobku (tzn. zmetku) [2,12].

Dotlakovací doba je závislá především na průřezu vtokového kanálku a jejím smyslem je, aby dodávala materiál do vstřikovací formy během procesu chladnutí (eliminace staženin a propadlin). Vstřikovací stroje bývají ve většině případů nastaveny tak, že je dotlak v první fázi vyšší (využije se tak vysoké tekutosti taveniny), a těsně před koncem se dotlak sníží (v okolí vtoku se omezí orientace). Celková doba dotlaku trvá řádově několik jednotek až desítek sekund [2,12].

3.1.4 Doba plastikace dávky plastu

Plastikace dávky materiálu je doba potřebná ke zplastikování plastu, rovnoměrnému zhomogenizování a lokalizaci dávky plastu před předek (čelo) šneku. Dávka plastu musí zaručit vyplnění dutiny vstřikovací formy, vyplnění vtokového systému a kompenzaci objemové změny, která je zapříčiněna smrštěním. Také je třeba brát na zřetel, že se snižuje účinná délka šneku, díky posuvu šneku směrem vzad. Z tohoto důvodu by se měl postupně zvyšovat zpětný tlak [2,12].

3.1.5 Doba chlazení výstřiku

Doba pro chlazení výstřiku je závislá na druhu materiálu, tloušťce stěny výrobku, teplotě formy a na teplotě taveniny. Dobu chlazení je potřeba snížit na minimum. Toho se docílí pomocí chladicího systému formy [2,12].

Již během vstřikovací fáze započte proces chladnutí, který probíhá i během dotlaku. A díky tomu dochází k obměně teploty, tlaku a měrného objemu. Fáze chladnutí má vliv jak na strukturu, tak i na kvalitu povrchu materiálu (zvláště lesklost výrobku). Celková doba chlazení trvá od desítek sekund až do několika málo minut [2,12].

3.2 Parametry ovlivňující kvalitu výrobku

Výslednou kvalitu výrobku, a i jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, určuje druh použitého materiálu, konstrukce formy, správná volba použitého stroje a technologické parametry (teplota formy, teplota taveniny, vstřikovací tlak, rychlost zaplnění dutiny vstřikovací formy, časový interval chlazení výstřiku, doba a výše dotlaku). Uvedené parametry se vzájemně ovlivňují (samostatně nikdy nepůsobí) [1,2,11].

3.2.1 Vliv druhu použitého materiálu

Od zvoleného druhu materiálu se vyžaduje schopnost přetvořit se do žádaného tvaru o požadovaných vlastnostech [1,2,11].

Granulát polymeru

Je velmi důležité, aby zpracovávaná hmota měla v době plastikace vlastnosti zaručující teplotně docílit homogenní tavenině. Materiál (hmota) stanovený pro vstřikování se dodává ve formě granulátu (tvarově pravidelná zrna o stejné velikosti). Bývají zpravidla 2 až 4 mm velké. Mají tvar kuliček, válečků, nebo krychliček. Takto tvarovaný granulát o takovýchto rozměrech velmi dobře propadá násypkou vstřikovacího stroje a šnekem stroje je lehce nabírán. Granulát, tvarově podobný kuličkám, se vzhledem k synpému úhlu (úhel sklonu roviny, při kterém samovolně dojde k posunu materiálu) v násypce nejlépeji pohybuje [1,2,11].

Tekutost polymeru

Tekutost (neboli zabíhavost) plastu je jeho velmi důležitou vlastností. Pro klasifikaci tekutosti plastu se využívají různorodé metody, z nichž asi nejpoužívanější je tzv. spirálová zkouška. Do dutiny formy spirálového tvaru se vstřikuje roztavená hmota a délka vystříknuté spirály při daných podmínkách zkoušky vystihuje zabíhavost polymeru. Na tekutost materiálu má vliv vstřikovací tlak, teplota taveniny, vtokový systém a teplota formy [1,2,11].

Rozsah zpracovatelských teplot

Jakýkoli druh plastu je možno vstřikovat ve specifickém rozsahu teplot. Horní teplotní hranice je určena stanoviskem, kdy se v dělicí rovině na výlisku začne ukazovat známka degradace, nebo tvořit přetok. Spodní teplotní hranice je určena stanoviskem, kdy dojde k jistému zaplnění tvarové dutiny vstřikovací formy. Interval tohoto rozmezí by měl být pokud možno co nejširší [1,2,11].

Z dalších technologických vlastností materiálu je důležité zmínit uvolňování těkavých látek. Tyto látky nesmí polymer při procesu vstřikování uvolňovat. Zhoršily by se jak mechanické vlastnosti, tak i vzhled výrobku). Například aby nedocházelo k odpařování vody (u navlhklých plastů), před procesem vstřikování se využívá proces sušení, díky kterému se polymer zbavuje nežádoucí vody [1,2,11].

Také smrštění plastu má velký vliv na konečnou kvalitu výrobku. Hmota by měla při fázi tuhnutí jevit známky kontrolovatelné míry smrštění, poněvadž smrštění má vliv na rozměrovou přesnost výlisků. Výlisek by měl po ztuhnutí obsahovat co nejmenší velikost vnitřního pnutí. V mimořádných případech se rovněž vyžaduje určité barevné stálosti a povrchové lesklosti [1,2,11].

3.2.2 Vliv technologických parametrů

Z technologických faktorů (vzájemně ovlivňujících se) má na vlastnosti a kvalitu výrobku zásadní vliv:

Teplota formy

Teplota formy (viz tab. 3.1) ovlivňuje tekutost polymeru ve formě, a tím pádem i plnicí rychlost dutiny, dobu chlazení výrobku, vlastnosti výrobku a také i výrobní náklady. Z pohledu ekonomického by bylo vhodné zvolit co nejnižší teplotu formy (kratší vstřikovací proces), nicméně z technologického pohledu má být co nejvyšší. Při vyšší teplotě formy má polymer větší zabíhavost, a tím pádem se může použít nižší vstřikovací tlak (popřípadě delší dráha tečení). Také plnicí rychlost dutiny formy je kladně ovlivněna vyšší teplotou vstřikovací formy. Rovnoměrněji tak chladne výlisek, tudíž se zlepšují jeho mechanické vlastnosti a snižuje se vnitřní pnutí [1,2,11].

Teplota taveniny

Teplota taveniny (viz tab. 3.1) ovlivňuje průběh a velikost tlaku a dotlaku, časový interval chlazení a viskozitu polymeru. Díky tomuto faktu je potřeba udržovat teplotu taveniny v neměnné (stálé) hodnotě [1,2,11].

Tab. 3.1 Tabulka doporučených hodnot teploty taveniny, teploty formy a teploty pro vyhození výstřiku z dutiny formy pro vybrané druhy termoplastických materiálů [2].

Termoplasty	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]	Teplota vhodná pro vyhození výrobku z formy [°C]
ABS	190 - 250	50 - 85	80 - 100
PA 6	260 - 280	40 - 120	100
PA 6 - GF	270 - 290	80 - 120	140
PA 66	275 - 295	80 - 100	100
PA 66 - GF	280 - 300	80 - 120	130
PC	280 - 320	85 - 120	< 140
PC - GF	310 - 330	80 - 130	< 150
HDPE	180 - 270	20 - 60	40 - 75
LDPE	180 - 270	20 - 60	30 - 65
PMMA	200 - 2500	50 - 80	50 - 110
POM	180 - 220	50 - 120	60 - 130
PP	170 - 280	20 - 100	45 - 80
PS	180 - 260	55 - 80	20 - 60
PVC tvrzené	190 - 220	30 - 60	25 - 55
SAN	200 - 260	50 - 85	80 - 95
PEEK	380 - 430	160 - 220	135 - 190

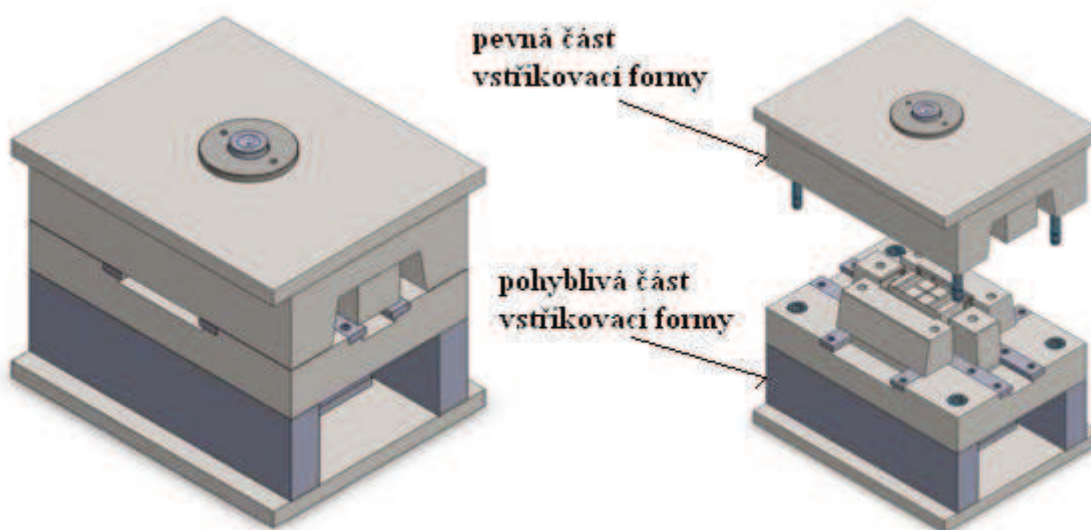
Vstřikovací tlak

Velikost vstřikovacího tlaku závisí na délce toku taveniny, tloušťce výrobku a teplotě taveniny. Vstřikovací tlak se pohybuje v rozmezí 30 – 150 MPa (ve výjimečných situacích až 300 MPa). Rovněž i teplota formy ovlivňuje velikost vstřikovacího tlaku. Pro zabránění situace předčasného ztuhnutí materiálu je důležité, aby proběhlo zaplnění dutiny vstřikovací formy přijatelně rychle [1,2,11].

Z dalších technologicky primárních parametrů je třeba uvést velikost a průběh dotlaku, který ovlivňuje především rozměry a smrštění výstřiku [1,2].

4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Klíčovým úkolem vstřikovací formy je dát požadovaný tvar zpracovávanému polymeru a ochladit ho. Chlazením na určitou teplotu se docílí takové formy plastu (dostačující tuhost materiálu), která se při vyjmutí z dutiny vstřikovací formy nepoškodí. Vstřikovací forma (obr. 4.1) se skládá z pevné a pohyblivé části. Forma obsahuje několik základních prvků, které jsou její nedílnou součástí pro správné fungování celého procesu vstřikování. Jsou to díly vymezující tvarovou dutinu formy, temperační (chladicí) systém, vtokový systém, vyhazovací systém a vodicí a upínací prvky [1,2,15,19].



Obr. 4.1 Ukázka 3D modelu vstřikovací formy [14].

Forma pro vstřikování je technické a velmi často i složité zařízení. Musí poskytnout výrobky přesných rozměrů, nenáročné vyjmutí výrobku z dutiny a odolnost proti vysokým tlakům. Výroba a konstrukce formy je velmi náročná jak z pohledu finanční nákladů, tak i z pohledu odborných znalostí [1,2,19].

Základní rozdělení forem pro vstřikování

Vstřikovací formy lze dělit do několika základních kategorií dle různých hledisek [2,19]:

- ***Rozdělení podle typu stroje pro vstřikování:***
 - se vstřikováním do dělicí roviny formy,
 - se vstřikováním kolmo na dělicí rovinu formy.
- ***Rozdělení podle počtu tvarových dutin:***
 - jednonásobné formy,
 - vícenásobné formy.

○ ***Rozdělení podle konstrukce:***

- jednoduché,
- s výsuvnými jádry,
- čelistové,
- etážové,
- vytáčení,
- apod.

○ ***Rozdělení podle vtokového uspořádání:***

- dvoudeskové,
- třideskové,
- s vtokem horkým,
- s vtokovými kanály vyhřívanými,
- s vtokovými kanály izolovanými.

○ ***Rozdělení podle druhu zpracovávaného materiálu:***

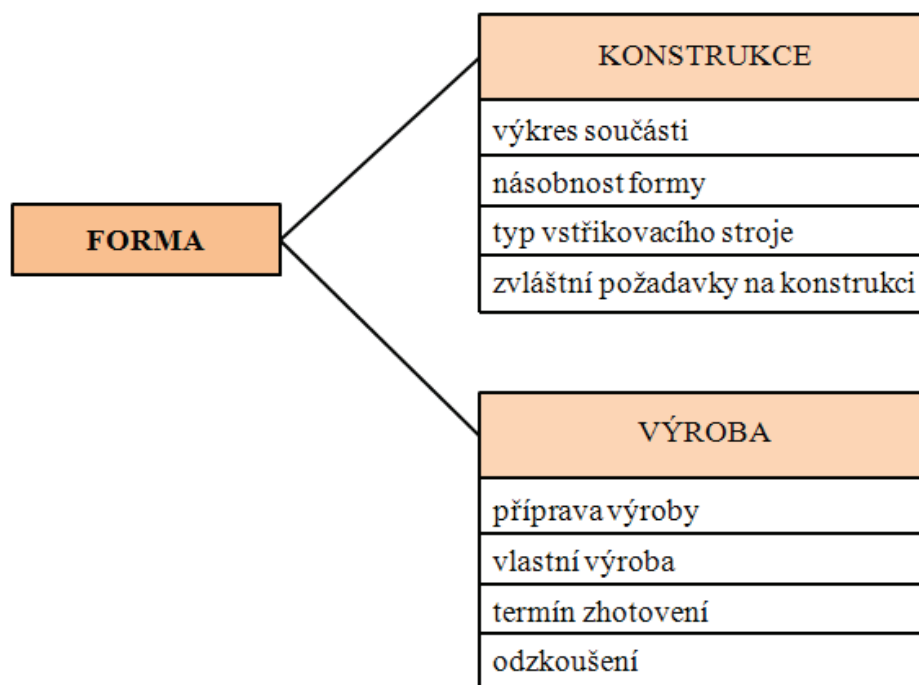
- formy pro termoplasty,
- formy pro reaktoplasty,
- formy pro elastomery.

Zásady pro konstruování vstřikovacích forem

Výroba plastových dílců pomocí procesu vstřikování se uskutečňuje ve vstřikovací formě (která je upnuta k uzavírací jednotce vstřikovacího lisu), v krátkém časovém intervalu a za působení vysoké teploty a tlaku. Vzhledem k těmto faktorům se vyžadují určité základní požadavky na vstřikovací formy [1]. Mezi tyto požadavky patří [1]:

- vysoká jakost a přesnost dutiny formy (funkční plocha) a dalších funkčních dílů,
- volba optimálního vyhazovacího systému, temperačního (chladicího) systému, vtokového systému, apod.,
- optimální délka životnosti formy (která závisí na výrobě, konstrukci a volbě materiálu),
- maximální pevnost a tuhost jednotlivých částí vstřikovací formy.

Vyhotovení výrobních výkresů (výkresová dokumentace) vstříkovací formy pro zadaný dílec je jednou z primárních činností pro realizaci. Požaduje se tedy výborná znalost jak z oblasti výroby, tak i z oblasti konstrukce (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Schéma činností a technických údajů při výrobě a konstrukci formy [1].

Posouzení výkresu vyráběného dílce

Při konstrukčním návrhu plastového dílce je třeba řídit se odlišnými zásadami, než jakými se řídí u návrhů kovových součástí. Konstruktor musí při tvorbě návrhu brát zřetel na to, co všechno se v součásti z plastového materiálu při procesu vstříkování děje [1].

Aby se při návrhu dílce z plastu nepřekročily určité vlastnosti a konstrukční tvary, jsou stanovené jisté meze (nedodržováním daných mezí může dojít ke vzniku problémů při výrobě). Pro předejití problémů je důležité mít potřebné znalosti k dané problematice [1].

Z pohledu konstrukce formy musí tvar vyráběné součásti umožnit vhodné a bezproblémové zaformování. Tím je i stanovena dělicí plocha, na kterou navazuje celá koncepce vstříkovací formy (vyhazovací systém, vtokový systém, temperační systém, atd.). Také je třeba posoudit, jestli vyhovuje navržený tvar dílce tvářecím podmínkám [1]. Výrobní výkres součásti by měl vytyčit [1]:

- ideální druh materiálu (plastu),
- rozměry (i s tolerancemi) a tvar dílce,
- požadavky na vzhled (vtokové stopy, barva apod.) a povrchovou jakost,
- zvláštní přání (požadavky) na výlisek.

Hodnotný návrh dílce z plastu očekává úzkou kooperaci konstruktéra vstřikovací formy s konstruktérem plastového dílce (vhodná by byla spolupráce i s technologem). Včasnou spoluprací by se tak vyřešilo poměrně dost nepříjemností, které by se stejně musely v budoucnu řešit [1].

4.1 Vtokový systém

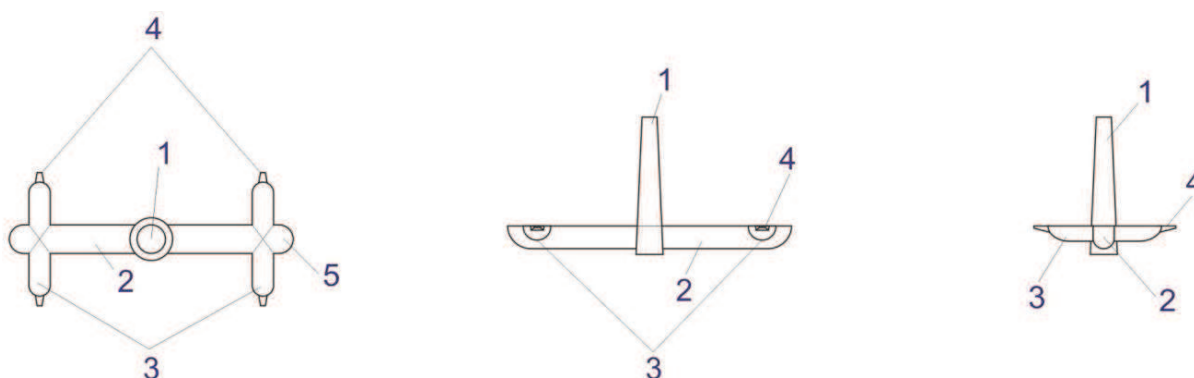
Vtokový systém slouží k vedení proudu taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy ze stroje určeného ke vstřikování. Vyplnění dutiny formy taveninou by mělo proběhnout pokud možno v co nejkratším časovém úseku a s co nejmenšími odpory [1,15,19].

Rozměry vtokového kanálku, tvar a jeho umístění ústí do tvarové dutiny ovlivňují určité faktory. V první řadě to jsou rozměry a vlastnosti výlisku, dále pak spotřeba materiálu, obtížnost začištění vtoku na výrobku a v neposlední řadě energetická náročnost výroby [1,15,19].

Uspořádání vtokové soustavy je závislé na násobnosti vstřikovací formy a její konstrukční složitosti. Skládá se z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích kanálků a ústí vtoku. Ekonomika a způsob výroby, charakter výlisku a zákaznické požadavky stanoví, jestli využít studené vtokové soustavy (malosériová výroba, jednodušší výrobky), nebo horké vtokové soustavy (hromadná výroba, složitější výrobky) [1,15,19].

4.1.1 Studený vtokový systém

Jak již bylo zmíněno, studený vtokový systém je využíván v malosériové výrobě. Tavenina proudí vtokovým kuželem do hlavního kanálu, z něj pak dále do rozváděcích kanálků, a následně až do ústí vtoku, ze kterého vniká do dutiny vstřikovací formy (obr. 4.3). Aby se zachytila studenější část taveniny, provádí se u čela hlavního kanálu prodloužení. Bez prodloužení čela hlavního kanálu by chladnější část taveniny vnikala do vtokového ústí a vznikly by tak problémy při plnění dutiny formy [1,14].

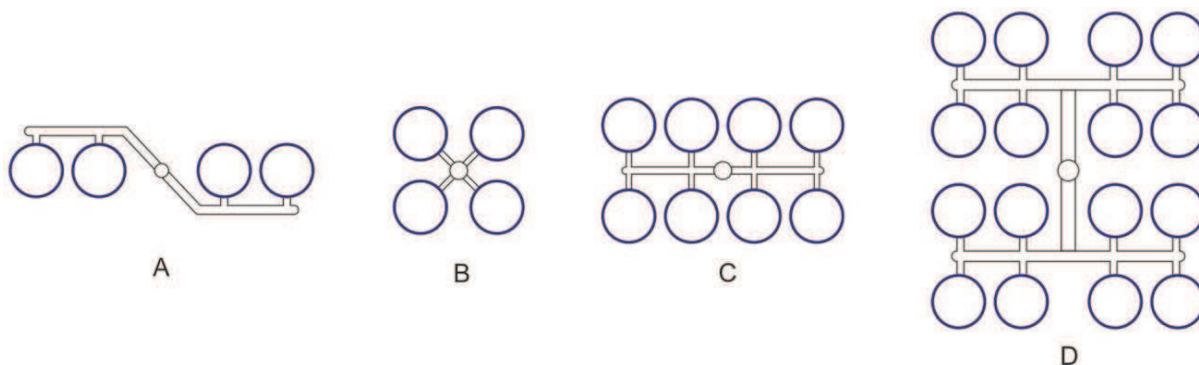


Obr. 4.3 Studená vtoková soustava [14].

1 – vtokový kužel, 2 – kanál hlavní, 3 – kanálky rozváděcí, 4 – vtokové ústí, 5 – prodloužené čelo.

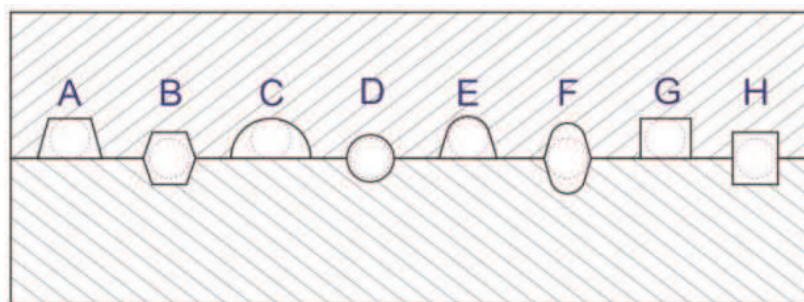
Nejvhodnější způsob uspořádání rozváděcích kanálků je ve tvaru kříže nebo hvězdice (obr. 4.4 – B), jelikož mají všechny vtoky stejný tvar, průřez i délku. A tím pádem také technologické podmínky u všech výstřiků jsou stejné [1,14].

U dalších způsobů uspořádání rozváděcích kanálků (obr. 4.4 – A, C, D) mají výstřiky umístěné na okraji rozváděcího kanálku jiné technologické podmínky, než výstřiky umístěné blíže ke vtokovému kanálu [1,14].



Obr. 4.4 Uspořádání rozváděcích kanálků [14].

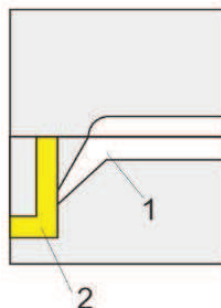
Je velmi nutné při navrhování vstřikovací formy počítat se změnou technologických podmínek výstřiků v závislosti na způsobu uspořádání kanálků a uzpůsobit tak hloubku a šířku vtoků. Různé možnosti průřezů vtokových kanálků jsou vyobrazeny na obr. 4.5 [1,14].



Obr. 4.5 Průřezy základních druhů vtokových kanálků [14].

A, C, E, G – výrobně vhodný vtokový průřez, B, D, F, H – výrobně nevhodný vtokový průřez.

Jednou z nejpoužívanějších variant je takzvaný tunelový vtok (obr. 4.6). Dalšími variantami vtoků jsou plný kuželový, standartní boční, bodový, deštníkový, kotoučový, mečový, šterbinový a kruhový (prstencový). U všech tvarů a typů vtoků je třeba zajistit zaoblení ostrých hran kanálků a pokud možno co nejhladší povrch [1,14].



Obr. 4.6 Tunelový vtok [14].

1 – vtok, 2 – výstřik.

4.1.2 Vyhřívání vtokový systém

Klasické studené vtokové systémy jsou v odvětví zpracování plastů stále častěji nahrazovány vyhříváními vtokovými systémy. Je to způsobeno především nespočtem výhod, které jsou dány nepřetržitým vývojem těchto vyhříváních systémů [1,15,19].

Výhody použití vyhřívání vtokového systému [15,19]:

- poskytuje automatizaci výroby,
- zkracuje výrobní (vstřikovací) cyklus,
- odstraňuje vtokový zbytek (úspora materiálu),
- sníží náklady na dokončovací práce,
- není nutnost třídeskového provedení vstřikovacích forem.

Nevýhody použití vyhřívání vtokového systému [15,19]:

- vyšší složitost vstřikovacích forem,
- vyšší cena vstřikovacích forem,
- obtížnější oprava vstřikovacích forem.

Vstřikování plastů s využitím horkého (vyhřívání) vtokového systému se zakládá na tom, že tavenina zůstává po vyplnění tvarové dutiny formy v celém pásmu vtoku až po ústí v tekutém stavu. Díky tomu se může využívat bodového vyústění o malém průřezu, a to nám umožní vyrábět velkou škálu plastových výrobků. Spojení dutiny formy se vstřikovacím strojem nám při ideální teplotní stabilizaci zprostředkuje konstrukce právě vyhřívání trysky. Vyhřívání trysky obsahuje svůj vlastní topný článek (regulovatelný), nebo je nepřímo vyhřívána [1,15].

Trysky vyhřívání nepřímo se dělí do dvou variant [1,15]:

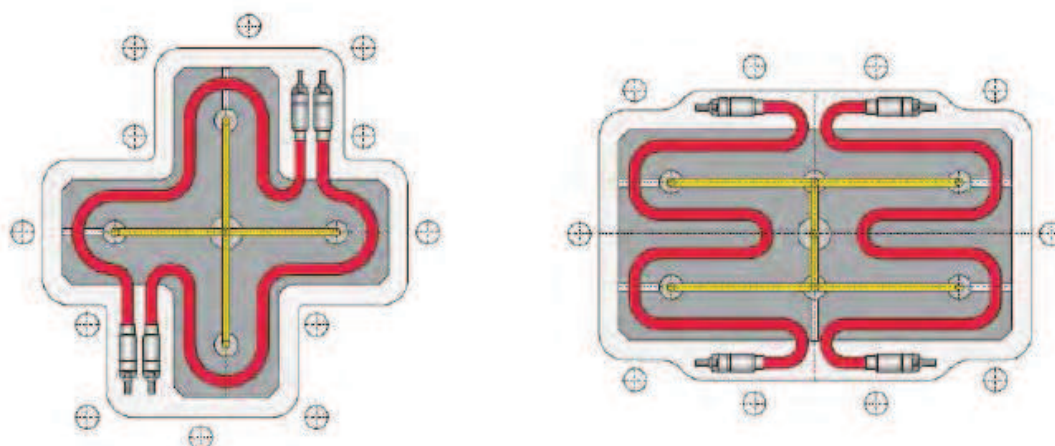
- teplotní přenos na trysku z vyhřívání (vytápění) rozváděcího bloku (užití u vícenásobných vstřikovacích forem),
- vyústění izolovaného rozvodu vtoku je dotápění (v ocelovém pouzdře je zabudované miniaturní topné tělísko).

Trysky obsahující vlastní topný článek se také dělí do dvou variant, a to následovně [1,15]:

- trysky s vnitřním vyhříváním (tavenina obtéká vyhřívání vnitřní vložku),
- trysky s vnějším vyhříváním (tavenina proudí uvnitř tělesa trysky).

Obě dvě varianty, obsahující vlastní topný článek, jsou navrženy tak, aby mohlo být ústí se špičkou, s uzavírací jehlou, otevřené nebo jinak specificky tvarované [1,15].

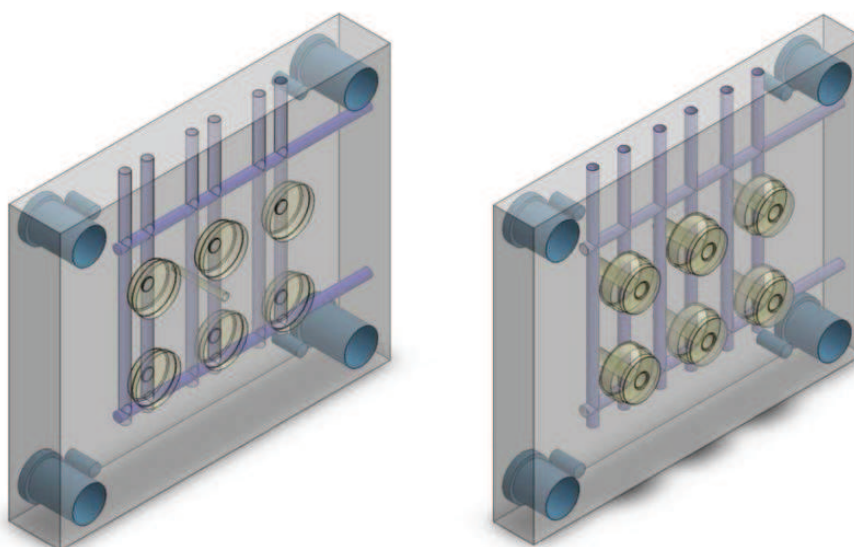
Na obrázku 4.7 jsou vyobrazeny dvě různé provedení vytápěných rozváděcích bloků vhodných pro vícenásobné formy (žlutou barvou je znázorněna tavenina plastu a červenou barvou je znázorněno topení) [19].



Obr. 4.7 Vyhřívání bloky [16].

4.2 Temperační systém

Aby se zaručila výrobní opakovatelnost, musí tavenina v dutině vstřikovací formy v co nejkratším časovém úseku zchladnout, a proto jsou formy pro vstřikování vybaveny temperačním systémem. Temperační systém je v podstatě určitý systém kanálků (obr. 4.8), který poskytuje přestup tepla z taveniny do temperovací kapaliny a formy. Udržení potřebné teploty formy je zajištěno prostřednictvím chladicího média protékajícího systémem chladicích kanálků. Ideální chlazení je v případě, že se tavenina ochlazuje stejnou rychlostí ve všech místech. V případě nerovnoměrného chlazení by mohlo dojít ke vzniku trhlin výstřiku, deformaci výstřiku nebo vnitřnímu pnutí výstřiku. Temperovat i chladit je možno olejem nebo vodou. Temperační systém se dělí na okruh pro pohyblivou a pevnou (vtokovou) část vstřikovací formy [2,14,19].



Obr. 4.8 Temperační kanálky [14].

Při návrhu rozmístění kanálků se musí brát v potaz umístění vyhazovacího systému, vtokového systému, tvarových vložek, apod. Kanálky by měly být umístěny pokud možno co nejblíže k tvarové dutině formy, avšak nesmí dojít k porušení dutiny. Také by mělo být jejich rozmístění rovnoměrné a v ideálním případě ve stejné vzdálenosti od líce vstřikovací formy. K dispozici je více variant výroby a konstrukce kanálků. Průřez kanálků bývá kruhového, nebo obdélníkového tvaru. Délka kanálků by měla být volena tak, aby teplotní rozdíl temperovací kapaliny (rozdíl mezi vstupem a výstupem) byl maximálně 3 – 5 °C. Při výrobě tvarově a rozměrově nenáročných výstřiků s velmi malou výrobní sérií je možné úplně vynechat chlazení a vstřikovací formu vyrobit bez temperačního systému [2,14,19].

Provedení temperačního systému je ovlivněno více faktory, ze kterých je nutné uvést především [1,19]:

- tvar výrobku,
- velikost výrobku,
- tloušťka výrobku,
- druh vstřikovaného materiálu,
- materiál formy a jeho vlastnosti,
- požadavky na přesnost výrobku.

4.3 Odvzdušnění forem

Tvarová dutina vstřikovací formy musí být patřičně odvzdušněna, a na to se při konstrukci formy musí brát ohled. Při nedostatečném odvzdušnění formy by uzavřený vzduch mohl způsobit spálení polymeru. Také to může způsobit propadliny na výlisku nebo jeho nedostříknutí. Nedostříknutí výlisku bývá kompenzováno většími vstřikovacími tlaky, ale je zde nebezpečí přetěžování vstřikovací formy a výskytu vnitřního prnutí ve výliscích [15,19].

Výrobky plochých tvarů jsou odvzdušňovány v dělicí rovině vstřikovací formy. Kanálky pro odvzdušnění mívají obvykle tloušťku 0,02 – 0,05 mm a šířku 3 – 6 mm. Umísťují se po obvodu výlisku v daných intervalech. Při konstrukci je důležité dodržet stanovenou toleranci rozměrů, jinak by mohlo docházet k nežádoucím ztrátám taveniny (u rozměrnějších odvzdušňovacích kanálků). Další variantou odvzdušňování forem je užití vyhazovacích kolíků, které se přebroušením zploští, a vzniklá vůle zprostředkuje únik vzduchu [15,19].

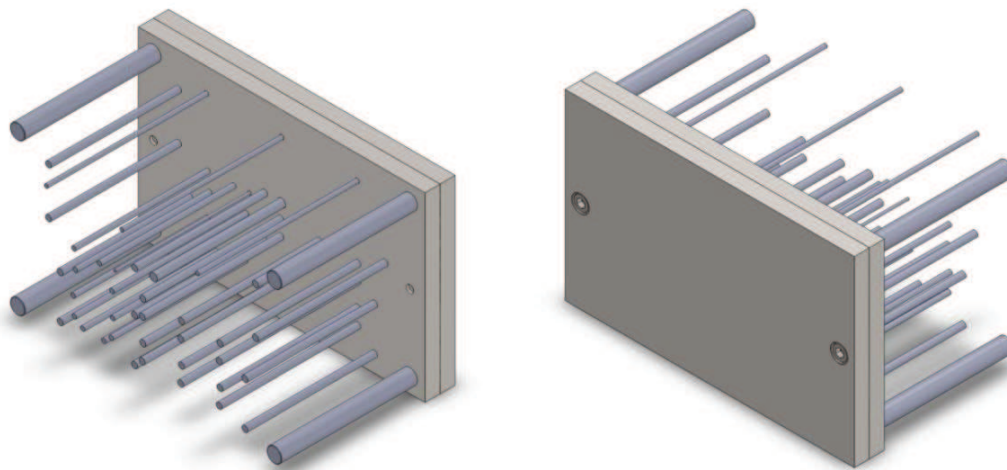
4.4 Vyhazovací systém

Z důvodu ochlazování se výstřiky smršťují a zůstávají ve tvarové dutině vstřikovací formy, a proto má každá vstřikovací forma svůj vlastní vyhazovací systém [2,14].

Vyhazovací systémy mají různé provedení [19]:

- vyhazování prostřednictvím vyhazovacích kolíků (obr. 4.9),
- vyhazování prostřednictvím stíracích kroužků,
- vyhazování prostřednictvím stíracích desek,
- vyhazování prostřednictvím trubkového vyhazovače,
- vyhazování prostřednictvím stlačeného vzduchu.

Ve většině situací se jednotlivé varianty kombinují. Vyhazovací zařízení mívá různé délky, průměry a tvary, které se odvíjí od umístění vyhazovačů a velikosti výrobku. Aby nedocházelo k poškození (zlomení) vyhazovačů, musejí být přijatelně dimenzovány [2,14].

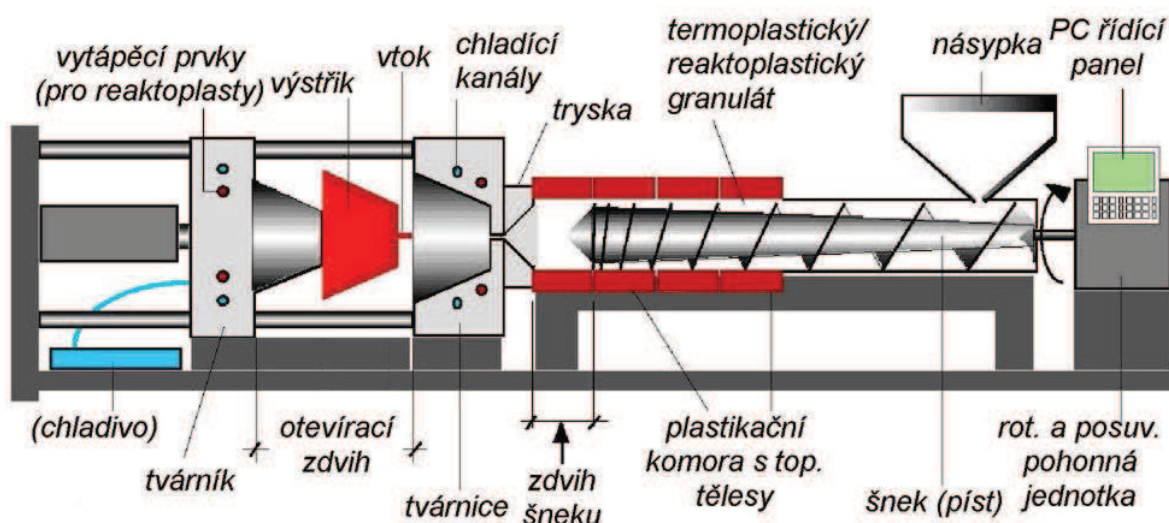


Obr. 4.9 Mechanismus pro vyhazování výstřiků [14].

5 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Proces vstřikování se uskutečňuje na strojích moderních, zpravidla plně automaticky (velká produktivita práce). Nevýhodou je však pořizovací cena, která je velmi vysoká, a proto je technologie vstřikování vhodná především ve velkosériové výrobě [1,2].

Vstřikovací stroj (obr. 5.1) je složen z několika prvků, které jsou pro jeho správnou funkci nepostradatelné. Je to vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a řízení a regulace vstřikovacího stroje. Další výbavou vstřikovacího stroje bývá většinou mísicí a dávkovací zařízení, temperační zařízení, manipulátory, dopravníky, apod. [1,2].



Obr. 5.1 Schéma vstřikovacího stroje [2].

5.1 Vstřikovací jednotka

Jak již bylo zmíněno, vstřikovací jednotka je jednou z hlavních částí vstřikovacího stroje. Ze vstřikovací jednotky jsou ty nejdůležitější prvky [1,2]:

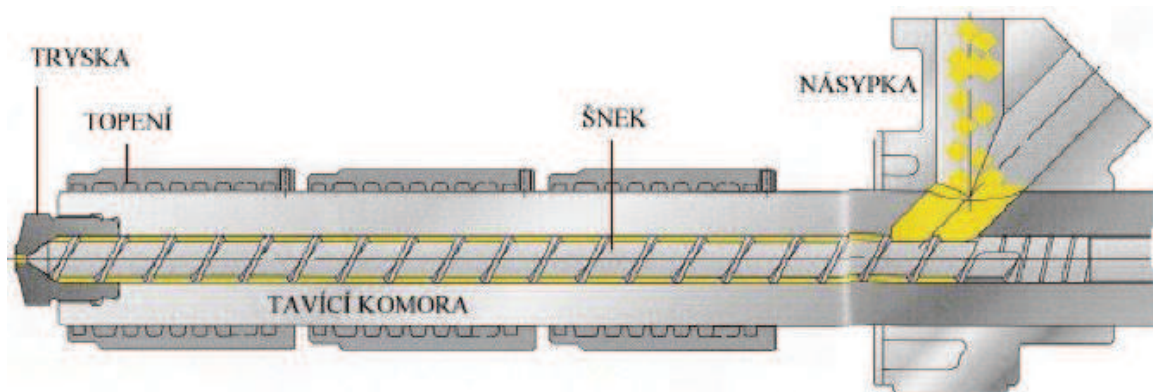
- šnek,
- tavicí komora,
- tryska,
- topení.

Z hrdla násypky se pomocí otáčení šneku odebírá granulát (granulovaný materiál), který následně putuje do vytápěné části komory (materiál zde taje a homogenizuje). Šnek se může pohybovat jak kolem své osy, tak i v podélném směru. K axiálnímu pohybu šneku dochází při procesu plastikace (šnek se otáčí a zároveň se při tom ještě posouvá směrem od trysky). Také při procesu vstřikování taveniny do vstřikovací formy dochází k axiálnímu pohybu šneku (šnek se neotáčí, pouze vykonává posun směrem k trysce) [1,2].

Šnek lze rozdělit na 3 pásma. Pod násypkou začíná vstupní (dávkovací) pásmo. Probíhá zde stlačování materiálu. Následuje pásmo kompresní (eventuálně přechodové). Zde dochází k nejintenzivnějšímu tání materiálu. Po přechodovém pásmu následuje pásmo výstupní

(homogenizační), ve kterém se materiál stává teplotně homogenní, a dále pak putuje do prostoru před šnekem (prostor se zaplní množstvím taveniny nezbytné pro jeden vstřikovací cyklus). Dalším krokem je zastavení otáčivého pohybu šneku a podélným pohybem šneku směrem dopředu vstřikuje taveninu do uzavřené dutiny vstřikovací formy [1,2].

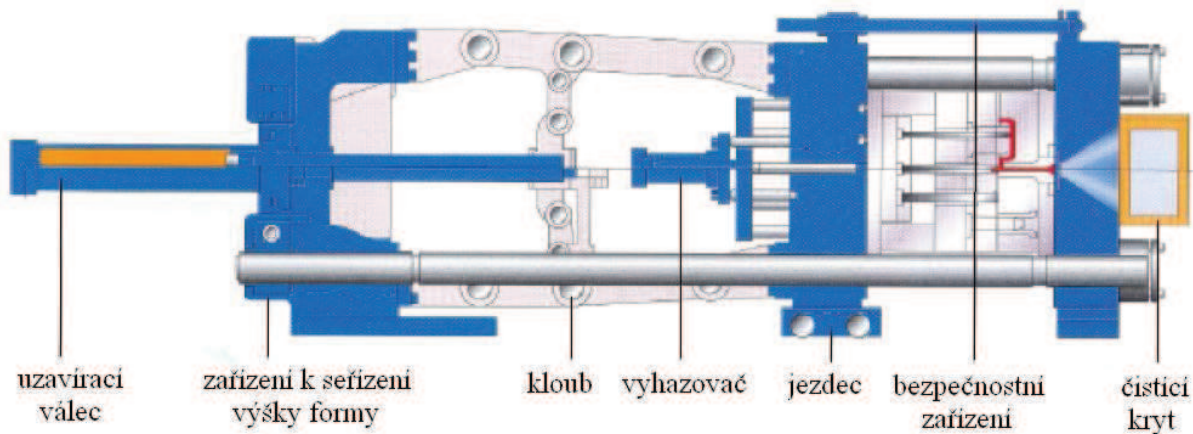
Tavicí komora je ukončena vstřikovací tryskou, která zajišťuje spojení vstřikovací formy právě s tavicí komorou. Je konstruována jako otevřená (průměr otvoru je v rozmezí 3 – 8 mm), nebo uzavíratelná (tryska se otevírá v momentě dosednutí vstřikovací jednotky na vstřikovací formu). Schéma vstřikovací jednotky je vyobrazeno na obr. 5.2 [1,2].



Obr. 5.2 Schéma vstřikovací jednotky [2].

5.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka (obr. 5.3) plní funkci otevírání a uzavírání vstřikovací formy. Aby nedošlo k pootevření formy tlakem vstříknuté taveniny, musí uzavírací jednotka vyvinout dostatečnou sílu. Skládá se z několika hlavních prvků, které jsou nezbytné pro její správnou funkci. Je to opěrná deska, pohyblivá deska (k upnutí pohyblivé části vstřikovací formy), vedení pohyblivé desky, upínací deska (k upnutí nepohyblivé části vstřikovací formy) a uzavírací systém. V praxi se využívají různé uzavírací systémy: hydraulické, kloubové, hydraulické s dvojitým ovládáním a závorováním a kombinované [1,2].



Obr. 5.3 Schéma uzavírací jednotky [2].

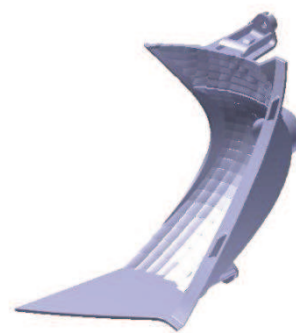
5.3 Řízení a regulace stroje

Nedílnou částí funkce každého stroje pro vstřikování je řízení a regulace, nebo-li snímání, nastavování a monitorování technologických a strojních parametrů (a při překročení dovolené tolerance jejich regulování) [1].

Na vstřikovacím stroji se přímo nastavují parametry strojní: teplota formy, teplota tavicí komory, vstřikovací rychlost, rychlost otevírání a uzavírání vstřikovací formy, tlak hydraulické kapaliny, dílčí časové úseky procesu vstřikování, apod. Stav materiálu (plastu) lze ovlivnit technologickými parametry: teplota a tlak hmoty v dutině formy a také v komoře, doba plnění a chlazení, viskozita taveniny a rychlost proudění [1].

6 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Pro vyráběnou součást (plastové těleso světlometu automobilu) byla zvolena výroba pomocí technologie vstřikování plastů. Velikost výrobní série je stanovena na 100 000 ks/rok (50 000 ks/rok pro pravou stranu světlometu, 50 000 ks/rok pro levou stranu světlometu). Plastové těleso (obr. 6.1) se bude vyrábět z polykarbonátového materiálu Apec 1695 od firmy Bayer. Podrobnější údaje o zvoleném materiálu jsou uvedeny v příloze č. 2.



Obr. 6.1 Výstřik [7].

Apec 1695 je typický technický plast, vhodný pro náročné technické aplikace (viz tab. 6.1). V dopravní technice se využívá produktů z tohoto materiálu při výrobě krytů svítilen, automobilových světel, směrových ukazatelů, signálních světel, apod. Polykarbonátový materiál se vyznačuje především výtečnými mechanickými vlastnostmi, zejména jeho pevností, houževnatostí a odolností proti nárazu [17].

Tab. 6.1 Vlastnosti materiálu Apec 1695 od firmy Bayer [18,19].

Vlastnosti materiálu Apec 1695			
Parametry	Označení	Jednotky	Hodnota
Hustota při 23 °C	ρ	g/cm ³	1,18
Viskozita při smykové rychlosti 1000 s ⁻¹	η	Pa·s	576
a při teplotě materiálu (taveniny)		°C	300
Faktor schopnosti tečení	K_f	bar/mm	5,2
Koeficient rovnice dráhy toku	m	-	74
Exponent rovnice dráhy toku	n	-	1,76
Teplota materiálu	T_M	°C	320
Teplota formy	T_F	°C	120
Teplota odformování	T_E	°C	130
Vstřikovací tlak	p_v	MPa	130
Dotlak	p_d	MPa	60
Zpětný tlak	p_z	MPa	10
Smrštění	S_m	%	0,7
Poissonovo číslo	μ	-	0,35
Koeficient tření	f	-	0,42
Max. obvodová rychlost šneku	v	m/s	0,25
Faktor navýšení objemu taveniny	K_a	g/cm ³	1,03
Efektivní teplotní vodivost	a_{eff}	mm ² /s	0,11
Rozdíl entalpií	Δh	kJ/kg	350
Teplota předsušení granulátu		°C	120 - 130
Doba předsušení granulátu		h	2 - 4

6.1 Konstrukčně technologické výpočty

Výpočet objemu plastového dílce:

$$V = 35,4 \text{ cm}^3$$

- Výpočet objemu dílce byl proveden pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2013.

Výpočet hmotnosti plastového dílce:

$$G = V \cdot \rho = 35,4 \cdot 1,18 = 41,8 \text{ g} \quad (6.1)$$

kde: ρ [g/cm³] - měrná hustota materiálu (dle tab. 6.1).

Kontrola délky dráhy toku taveniny:

$$f_C = 166,2 \text{ mm}$$

- Délka dráhy toku taveniny byla stanovena pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional 2013.

Určení maximální výpočtové délky dráhy toku taveniny [19]:

$$L = m \cdot s^n = 74 \cdot 1,8^{1,76} = 208,2 \text{ mm} \quad (6.2)$$

kde: m [-] - koeficient rovnice dráhy toku (dle tab. 6.1),
 n [-] - exponent rovnice dráhy toku (dle tab. 6.1),
 s [mm] - tloušťka stěny plastového dílce.

Podmínka $L > f_C$ ($208,2 > 166,2$) je splněna. Materiál pro zadaný dílec vyhovuje.

Výpočet velikosti dávky taveniny [19]:

$$V_D = n_t \cdot \frac{G}{K_a} = 2 \cdot \frac{41,8}{1,03} = 81,16 \text{ cm}^3 \doteq 82 \text{ cm}^3 \quad (6.3)$$

kde: K_a [g/cm³] - faktor navýšení objemu taveniny (dle tab. 6.1),
 n_t [-] - termínová násobnost formy (dle vzorce 6.13).

Výpočet minimálního plnicího tlaku [19]:

$$p_f = 3,25 \cdot K_f \cdot f_C \cdot s^{-1,8} = 3,25 \cdot 5,2 \cdot 166,2 \cdot 1,8^{-1,8} = 975 \text{ bar} \quad (6.4)$$

kde: K_f [bar/mm] - faktor schopnosti tečení (dle tab. 6.1).

Platí, že musí být splněna podmínka $p_v > p_f$.

Po dosazení: $1300 \text{ bar} > 975 \text{ bar} \Rightarrow$ podmínka je splněna.

Výpočet tvářecího tlaku (tlaku naplnění) [19]:

$$p_a = \frac{p_v}{2} + 100 = \frac{1300}{2} + 100 = 750 \text{ bar} \quad (6.5)$$

kde: p_v [bar] - vstřikovací tlak (dle tab. 6.1).

Výpočet uzavírací síly [19]:

$$F_P = n_t \cdot A_{\text{proj}} \cdot \frac{p_a + 100}{100} = 2 \cdot 80,46 \cdot \frac{750 + 100}{100} \doteq 1\,400 \text{ kN} \quad (6.6)$$

kde: A_{proj} [cm²] - plocha průřezu tvarové dutiny do dělicí roviny formy,
- vypočteno softwarem Autodesk Inventor Professional 2013.

Určení optimálního průměru šneku vstřikovacího stroje [19]:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (6.7)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{82} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{82}$$

$$32,6 < D_s < 45,6 \quad \Rightarrow \quad \text{z doporučených hodnot (viz tab. 6.2) volím } D_s = 45 \text{ mm}$$

Tab. 6.2 Doporučené hodnoty optimálního průměru šneku [19].

Doporučené hodnoty optimálního průměru šneku D_s [mm] vstřikovacího stroje											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

Stanovení délky dráhy pohybu šneku [19]:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_s \quad \Rightarrow \quad L_s = \frac{V_D \cdot 4 \cdot 10^3}{\pi \cdot D_s^2} \quad (6.8)$$

$$L_s = \frac{82 \cdot 4 \cdot 10^3}{\pi \cdot 45^2}$$

$$L_s = 51,6 \text{ mm}$$

Platí, že musí být splněna podmínka $1D_s < L_s < 3D_s$.

Po dosazení: $45 < 51,6 < 135 \Rightarrow$ podmínka je splněna.

Určení otáček šneku vstřikovacího stroje pro plastikaci [19]:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,25}{\pi \cdot 45} = 106,1 \text{ min}^{-1} \doteq 107 \text{ min}^{-1} \quad (6.9)$$

kde: v [m/s] - max. obvodová rychlost šneku (dle tab. 6.1).

Výpočet doby chlazení [19]:

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) \quad (6.10)$$

$$t_K = \frac{1,8^2}{\pi^2 \cdot 0,11} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{320 - 120}{130 - 120} \right)$$

$$t_K = 8,3 \text{ s}$$

kde: a_{eff} [mm²/s] - efektivní teplotní vodivost (dle tab. 6.1),

T_M [°C] - teplota materiálu (dle tab. 6.1),

T_F [°C] - teplota formy (dle tab. 6.1),

T_E [°C] - teplota odformování (dle tab. 6.1).

Určení doby vstřikování [19]:

Doba vstřikování t_V se určí na základě množství vstřikovaného objemu a velikosti viskozity materiálu, dle níže uvedené tabulky 6.3.

$$t_V = 1,8 - 2,7 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad \text{volím } t_V = 1,8 \text{ s}$$

Tab. 6.3 Tabulka pro určení doby vstřikování [19].

Vstřikovaný objem [cm ³]	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskózní materiál	Vysokoviskózní materiál
přes - do	viskozita η < 150 Pa·s	viskozita η 150 - 300 Pa·s	viskozita η > 300 Pa·s
1 - 8	0,2 – 0,4	0,25 – 0,5	0,3 – 0,6
8 - 15	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75
15 - 30	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 – 0,9
30 - 50	0,6 – 0,8	0,75 – 1,0	0,9 – 1,2
50 - 80	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,8
80 - 120	1,2 – 1,8	1,5 – 2,2	1,8 – 2,7
120 - 180	1,8 – 2,6	2,2 – 3,2	2,7 – 4,0
180 - 250	2,6 – 3,6	3,2 – 4,5	4,0 – 5,5
250 - 500	3,6 – 4,8	4,5 – 6,0	5,5 – 7,5
500 - 800	4,8 – 6,2	6,0 – 8,0	7,5 – 10,0

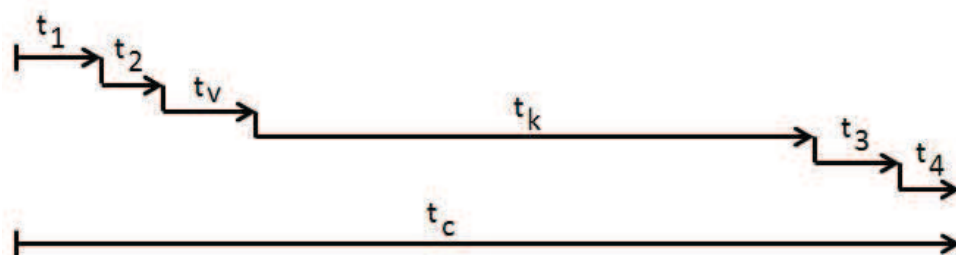
Výpočet doby vstřikovacího cyklu [19]:

$$t_C = t_1 + t_2 + t_V + t_K + t_3 + t_4 \quad (6.11)$$

$$t_C = 1,5 + 0,5 + 1,8 + 8,3 + 1,5 + 0,5$$

$$t_C = 14,1 \text{ s} \doteq 15 \text{ s}$$

- kde: t_1 [s] - uzavření formy (1 – 2 s),
 t_2 [s] - přisunutí vstřikovací jednotky (0,5 s),
 t_3 [s] - otevření formy a vyhození výstřiku (1 – 2 s),
 t_4 [s] - prodleva (0,5 s).



Obr. 6.2 Znázornění jednotlivých časů potřebných k určení doby vstřikovacího cyklu [19].

t_1 – uzavření formy, t_2 – přisunutí vstřikovací jednotky, t_V – doba vstřikování, t_K – doba chlazení, t_3 – otevření formy a vyhození výstřiku, t_4 – prodleva, t_C – doba vstřikovacího cyklu.

Výpočet vstřikovací rychlosti [19]:

$$v_S = \frac{V_D}{t_V} = \frac{82}{1,8} = 45,6 \text{ cm}^3/\text{s} \quad (6.12)$$

Stanovení praktické násobnosti formy [19]:

Praktická násobnost formy n_p se určí z grafu (viz příloha 1); $n_p = f(N)$

$$n_p \doteq 1$$

Výpočet termínové násobnosti formy [19]:

$$n_t = \frac{N \cdot t_C}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{100\,000 \cdot 15}{480 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 1,1 \doteq 2 \quad (6.13)$$

- kde: τ_p [hod] - požadovaný termín splnění dodávky (tříměsíčný provoz, 1 měsíc),
 K [-] - faktor využití pracovního času (0,7 – 0,9),
 N [ks] - velikost výrobní série.

Stanovení praktické násobnosti formy se s výpočtem termínové násobnosti formy téměř shoduje. Ale vzhledem k tomu, že se bude vyrábět jak pravá strana, tak i levá strana světlometu (50 000 LE, 50 000 RE), je cenově výhodnější nechat vyrobit jednu vstřikovací formu (vstřikování pravé i levé strany tělesa světlometu najednou, $n_t = 2$), než aby se vyráběla zvlášť vstřikovací forma pro pravou a levou stranu světlometu automobilu. Dalším důležitým hlediskem při volbě násobnosti formy je také časové využití lisu. Z těchto důvodů je vhodnější volba dvojnásobné formy:

$$n_t = 2$$

Výpočet minimální vstřikovací kapacity vstřikovacího stroje [19]:

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_t \cdot (V + V_K) = 1,1 \cdot 2 \cdot (35,4 + 1,4) \doteq 81 \text{ cm}^3 \quad (6.14)$$

kde: $V_K [\text{cm}^3]$ - objem rozváděcího kanálku formy.

Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje [19]:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_t \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_C} \quad (6.15)$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,18 \cdot (35,4 + 1,4)}{15}$$

$$C_p \geq 23,2 \text{ kg/hod} \doteq 24 \text{ kg/hod}$$

Výpočet minimální přidržovací síly vstřikovacího stroje [19]:

$$F_{Př} \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n_t \cdot p_v \cdot (A_{proj} + D_K \cdot L) \quad (6.16)$$

$$F_{Př} \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 130 \cdot (8046 + 298,85)$$

$$F_{Př} \geq 2\,386,6 \text{ kN} \doteq 2\,400 \text{ kN}$$

kde: $p_v [\text{MPa}]$ - vstřikovací tlak (dle tab. 6.1),
 $D_K [\text{mm}]$ - průměr rozváděcího kanálku,
 $L [\text{mm}]$ - délka rozváděcího kanálku.

Výpočet doby odformování [19]:

$$t_E = t_v + t_K = 1,8 + 8,3 = 10,1 \text{ s} \quad (6.17)$$

Určení koeficientu K pro výpočet smrštění [19]:

$$K = 61,366 - 5,574 \cdot \ln t_E \quad (6.18)$$

$$K = 61,366 - 5,574 \cdot \ln 10,1$$

$$K = 48,5$$

Výpočet smrštění materiálu v době odformování [19]:

$$S_{m(t)} = S_m \cdot \frac{100 - K}{100} \quad (6.19)$$

$$S_{m(t)} = 0,7 \cdot \frac{100 - 48,5}{100}$$

$$S_{m(t)} = 0,36 \%$$

kde: S_m [%] - celkové smrštění materiálu (dle tab. 6.1),
(po 24 hodinách od doby odformování).

Výpočet průchodu materiálu ze stroje do formy [19]:

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot V_D \cdot \rho}{t_C} \quad (6.20)$$

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot 82 \cdot 1,18}{15}$$

$$\dot{G} = 23,2 \text{ kg/hod} \doteq 24 \text{ kg/hod}$$

Výpočet množství tepla vneseného taveninou plastu do formy [19]:

$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h \quad (6.21)$$

$$Q = 24 \cdot 350$$

$$Q = 8\,400 \text{ kJ/h}$$

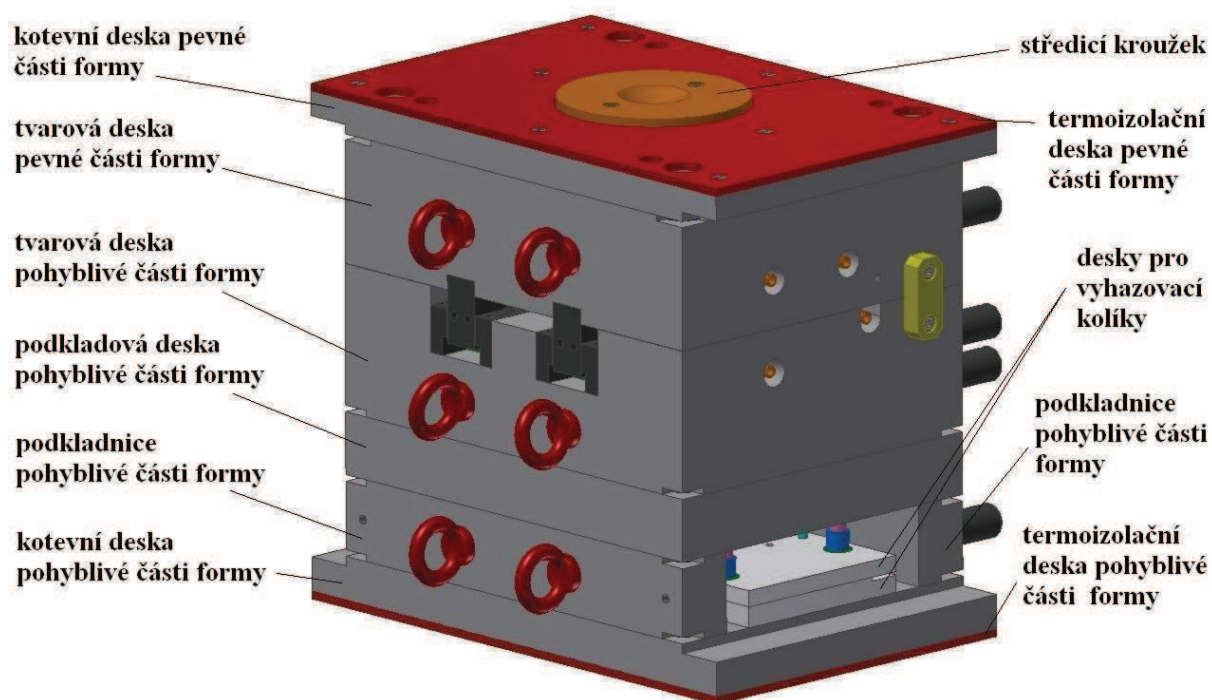
kde: Δh [kJ/kg] - rozdíl entalpií použitého plastu (dle tab. 6.1).

6.2 Konstrukce vstřikovacího nástroje

Nástroj pro vstřikování je tvořen z několika základních elementů, které jsou nezbytné pro jeho správnou funkci. Při konstrukci vstřikovací formy se využívaly normálie od firmy HASCO. Ke zhotovení vstřikovacího nástroje se použily desky typu K o rozměrech 396 x 496 mm, které jsou normalizované a mají již v základní podobě vyrobeny otvory pro vodící kolíky a pouzdra. V deskách jsou dále vyrobeny otvory a závity ke smontování jednotlivých desek v jednu kompletní sestavu. Vstřikovací forma se dělí na pevnou a pohyblivou část.

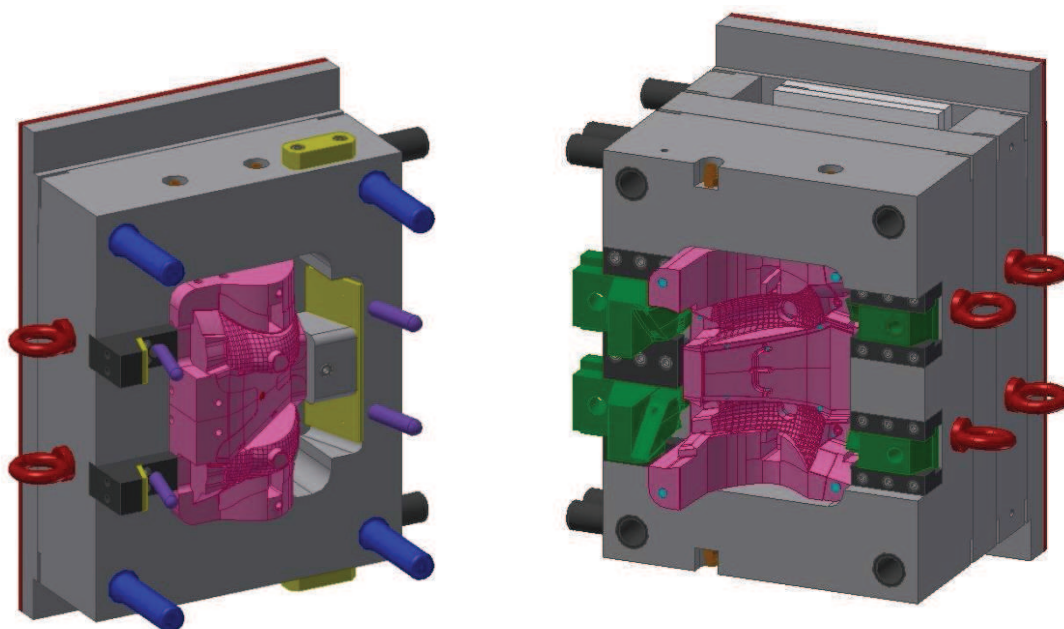
Pevná část vstřikovacího nástroje je tvořena z termoizolační desky, kotevní desky (K12), středícího kroužku, tvarové desky (K20), tvárníku, vodících kolíků pro pohyblivé vložky, vodících kolíků formy, horké vstřikovací trysky a dalších nezbytných doplňků. Kotevní deska je spojena s tvarovou deskou čtyřmi šrouby (Z31 - M16 x 50). Tvárník je přichycen k tvarové desce pomocí osmi šroubů (Z31 - M10 x 50). Při přísunu vstřikovací jednotky k pevné části vstřikovacího nástroje slouží pro přesné vystředění středící kroužek.

Pohyblivá část vstřikovacího nástroje je tvořena z termoizolační desky, kotevní desky (K12), středícího kroužku, vyhazovacích kolíků, desek pro upnutí vyhazovacích kolíků (K60/70), vedení vyhazovací soustavy, dvou podkladnic (K40), podkladové desky (K30), tvarové desky (K20), tvárnice, pohyblivých vložek, vodících pouzder pro pohyblivé vložky a vodících pouzder formy. Dvě podkladnice, kotevní, podkladová a tvarová deska jsou spojeny čtyřmi šrouby (Z31 - M16 x 220). Tvarová deska slouží jako základny k uchycení tvárnice. Sjednocujícím segmentem je osm šroubů (Z31 - M10 x 50). Vstřikovací nástroj je uveden na obr. 6.3.



Obr. 6.3 Sestava vstřikovací formy.

Vzhledem k tvarové složitosti výrobku, konkrétněji kvůli montážním prvkům součásti, musí vstřikovací forma obsahovat pohyblivé vložky (boční jádra), které se pohybují ve vodících pouzdrech pomocí šikmých vodících kolíků. Na obrázku 6.4 je znázorněno rozdělení vstřikovacího nástroje na pevnou a pohyblivou část formy.



Obr. 6.4 Vlevo pevná a vpravo pohyblivá část vstřikovací formy.

6.2.1 Vtokový systém

Pro vstřikovací formu na výrobu plastového tělesa světlometu automobilu byl na základě výpočtu (vzorec 6.22) zvolen vyhřívaný vtokový systém, v kombinaci se studenými rozváděcími kanálky. Vtokový systém slouží k vedení toku taveniny do uzavření dutiny formy. Použitím vyhřívané vtokové soustavy se ušetří náklady za materiál (vtokový kúl), který by se za použití studené vtokové soustavy vyhodil v podobě odpadu a zároveň se zkrátí vstřikovací cyklus. Na základě doporučení od firmy Automotive Lighting s.r.o. se zvolila vyhřívaná vstřikovací tryska 12S125TTP od firmy Synventive Molding Solutions s.r.o. (obr. 6.5). Tryska je umístěna v pevné části vstřikovacího nástroje, studené rozváděcí kanálky jsou rozmístěny v pohyblivé části nástroje. Zástavbové rozměry vyhřívané vstřikovací trysky jsou uvedeny v příloze č. 3.



Obr. 6.5 Vyhřívaná vstřikovací tryska 12S125TTP [23].

Posouzení vhodnosti použití vyhřívané vstřikovací trysky

Cena vyhřívané vstřikovací trysky 12S125TTP [23]:

$$A_{12S125TTP} = 33\,320 \text{ Kč}$$

Výpočet ceny materiálu vtokového zbytku (vtokový kůl):

$$N_{vk} = V_{vk} \cdot \rho \cdot \frac{N}{n_t} \cdot A_{apc1695} \text{ [Kč]} \quad (6.22)$$

$$N_{vk} = 8,08 \cdot 1,18 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100\,000}{2} \cdot 126,34 = 60\,236,3 \text{ Kč}$$

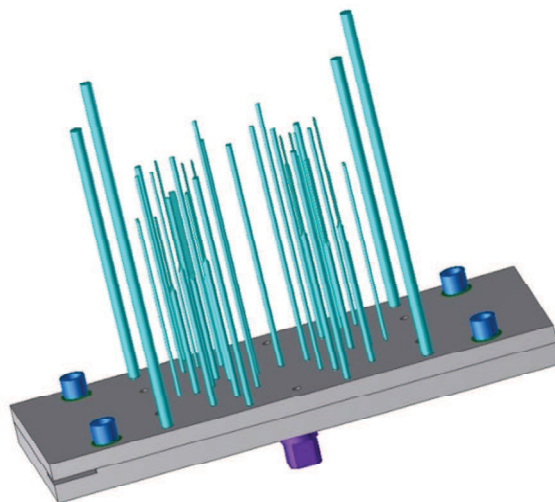
kde: V_{vk} [cm ³]	- objem vtokového kůlu,
ρ [g/cm ³]	- měrná hustota materiálu (dle tab. 6.1),
N [ks]	- velikost výrobní série,
n_t [-]	- násobnost vstřikovací formy,
$A_{apc1695}$ [Kč/kg]	- cena materiálu Apec 1695.

Z výpočtu tedy vyplývá, že je vhodnější využít vyhřívané vstřikovací trysky, která je sice poměrně drahá (33 320 Kč), ale při vyráběném množství 100 000 ks/rok se oproti studenému vtokovému systému vyplatí.

6.2.2 Vyhazovací zařízení

K vyjmutí (vyhození) dostatečně ztuhlého výstřiku z tvarové dutiny vstřikovací formy slouží vyhazovací zařízení (obr. 6.6). Vyhazovací kolíky jsou upevněny v deskách (K60/70), které zaručí jejich správnou polohu a natočení. Deska K60 je přichycena k desce K70 pomocí šesti šroubů Z31 - M10 x 25.

Jak desky, tak i všechny druhy vyhazovacích kolíků jsou použity z katalogu firmy Hasco. Vyhazovací sestava obsahuje válcové kolíky určitého množství o různých průměrech (4 x Ø6 mm, 1 x Ø5,5 mm, 4 x Ø5 mm, 4 x Ø4 mm, 6 x Ø2,8 mm). Dále pak obsahuje 14 plochých vyhazovacích kolíků o průměru 6 mm a 4 vraccí kolíky o průměru 11 mm.



Obr. 6.6 Vyhazovací sestava.

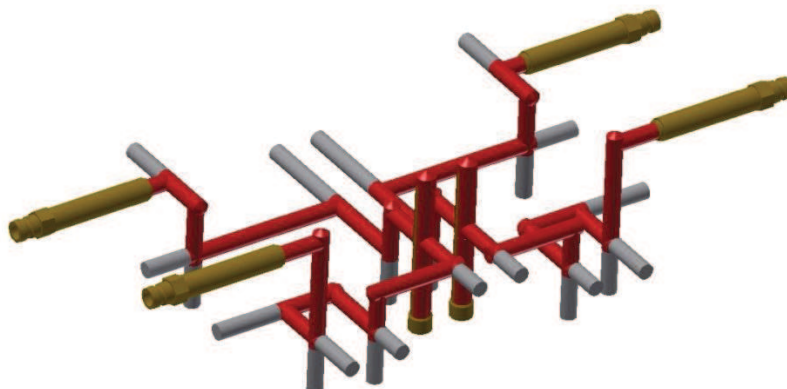
6.2.3 Temperační systém

Temperační systém vstřikovací formy se skládá ze čtyř okruhů, které na sobě nejsou závislé. Dva okruhy jsou v tvárníku, dva v tvárnici. Temperační kanálky jsou kruhového průřezu o průměru 10 mm. Úkolem tohoto složitého systému je udržet teplotu vstřikovací formy na požadované hodnotě. Toho docílíme prostřednictvím chladicího média protékajícího systémem temperačních (chladicích) kanálků. Pro temperování vstřikovací formy byla zvolena jako chladicí médium voda. K vytvoření funkčního temperačního okruhu slouží uzavírací zátky a přepážkové zátky (obr. 6.7), které se umístí na pozice, kde je potřeba kanálky utěsnit (nebo vytvořit přepážku), a tím docílíme požadovaného jednosměrného okruhu.

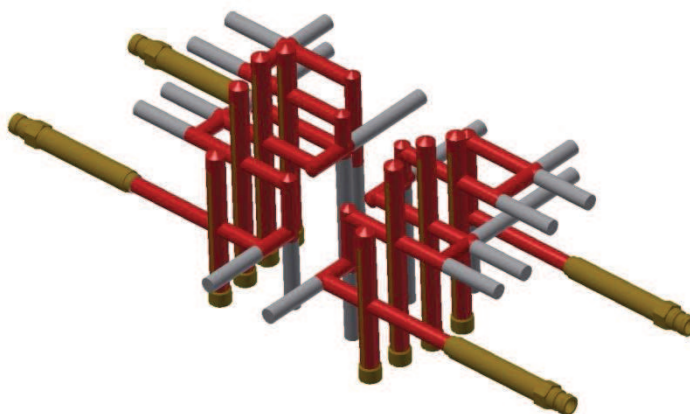
Jak již bylo zmíněno, temperační systém se dělí na dva okruhy v pohyblivé části (tvárnice) a dva okruhy v pevné části (tvárník) vstřikovacího nástroje. Každý okruh obsahuje dvě normalizované přípojky pro připojení k externím hadicím. Temperační systém pohyblivé části formy je zobrazen na obr. 6.8, pevné části formy je znázorněn na obr. 6.9.



Obr. 6.7 Přepážková zátky.



Obr. 6.8 Temperační okruhy pohyblivé části formy.



Obr. 6.9 Temperační okruhy pevné části formy.

6.2.4 Odvzdušnění

Při procesu plnění dutiny formy taveninou dochází ke stlačení vzduchu, které by mohlo zapříčinit spálení plastu, nebo nepříznivě ovlivnit jeho mechanické vlastnosti. Stlačený vzduch by mohl také poškodit i vstřikovací formu.

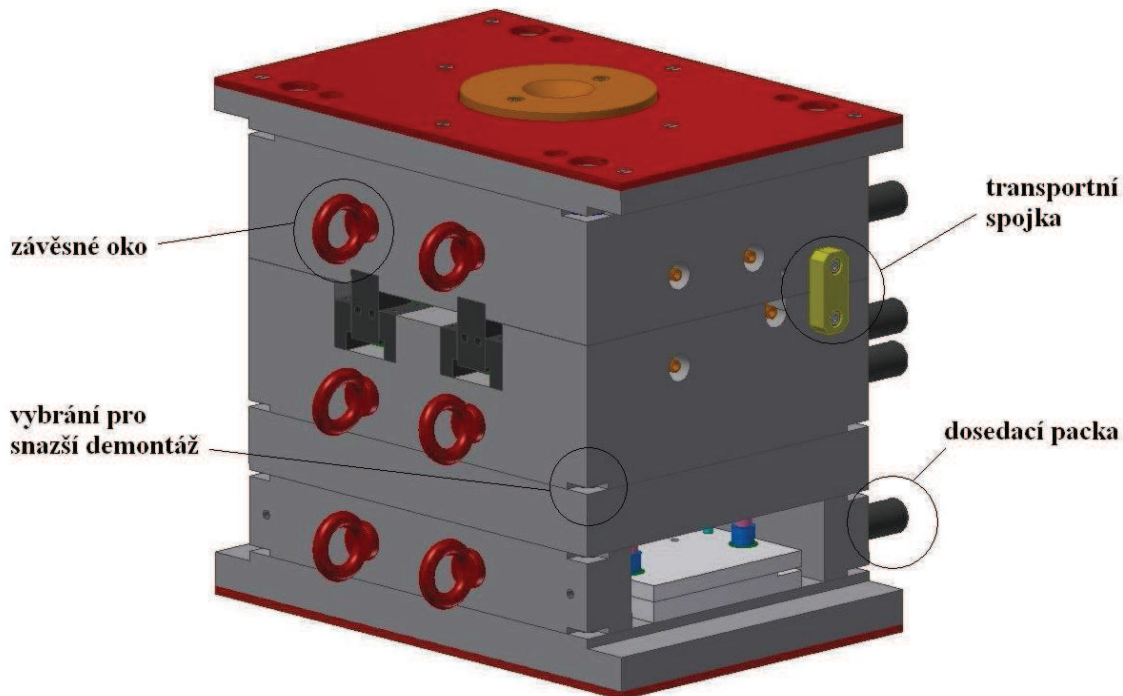
Aby se předešlo těmto negativním jevům, jsou pohyblivé vložky (boční jádra) vstřikovací formy vyrobeny s určitou tolerancí jejich uložení, aby zde docházelo k odvzdušnění. Odvod vzduchu je také ještě zabezpečen pomocí vyhazovacích kolíků, které jsou přebroušeny, a díky tomu vzniklá vůle umožňuje únik vzduchu z dutiny formy.

6.2.5 Konstrukční úpravy

Vstřikovací nástroj obsahuje určité konstrukční úpravy a prvky, které umožňují snadnější manipulaci, popř. demontáž formy.

Závěsná oka slouží k uchycení vstřikovacího nástroje pomocí háku portálového jeřábu. Aby nedošlo při manipulaci s formou k jejímu rozjetí (otevření), obsahuje dvě transportní spojky, které zajistí zabezpečení celého nástroje proti otevření.

Dosedací packy slouží ke snadné manipulaci nástroje pomocí vysokozdvizného vozíku (uložení do nástrojového parku firmy, přeprava na pravidelnou údržbu, apod.). Vstřikovací forma dále obsahuje vybrání v rozích jednotlivých desek, které umožňuje v případě nutného rozebrání nástroje snazší demontáž. Konstrukční prvky a úpravy vstřikovacího nástroje jsou znázorněny na obr. 6.10.



Obr. 6.10 Konstrukční prvky vstřikovacího nástroje.

6.3 Technologická analýza

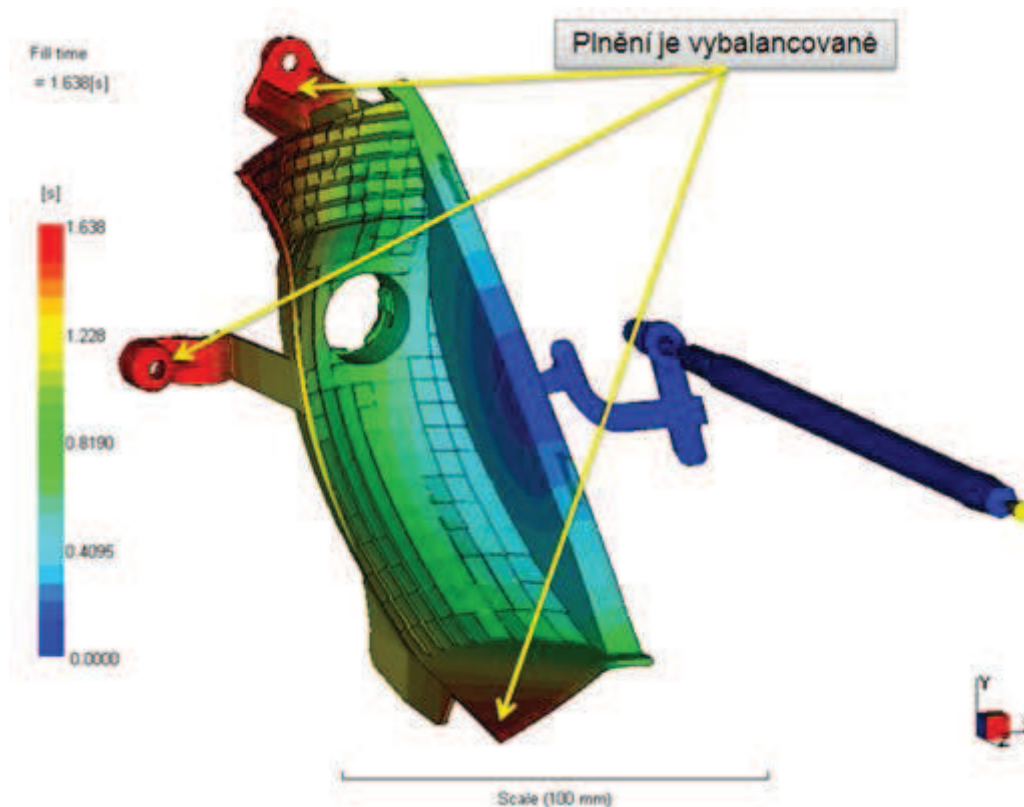
Situace na trhu si žádá stále rychlejší konstrukci a vývoj nástrojů (vstřikovacích forem) pro výrobu plastových dílců. Vstřikovací forma je z výrobního hlediska velmi drahý a složitý nástroj, a proto jsou jakékoliv zásahy do konstrukce formy po jejím zkušebním provozu značně nákladné. Při návrhu vstřikovací formy je možno uskutečnit technologickou analýzu a simulaci celého procesu vstřikování. Díky tomu je možno ještě před uskutečněním výroby formy provést na modelu vhodné opatření a žádoucí úpravy. Moldflow analýza umožňuje optimalizovat a analyzovat proces vstřikování na jednotlivých úrovních cyklu vstřikování: plnění dutiny vstřikovací formy, velikost vstřikovacího tlaku v jednotlivých úsecích, čas k dosažení teploty pro vyhození výstřiku, celkovou deformaci výrobku po vyhození z dutiny vstřikovací formy, apod. [22]. Základní parametry pro analýzu v programu AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW INSIGHT jsou uvedeny v tab. 6.4.

Tab. 6.4 Základní data pro analýzu vstřikování.

Materiál	Apec 1695
Teplota taveniny	320 °C
Teplota formy	120 °C
Doba plnění	automatické
Vypnutí při	98 % objemu naplnění
Dotlak	40 MPa - 6 sec.

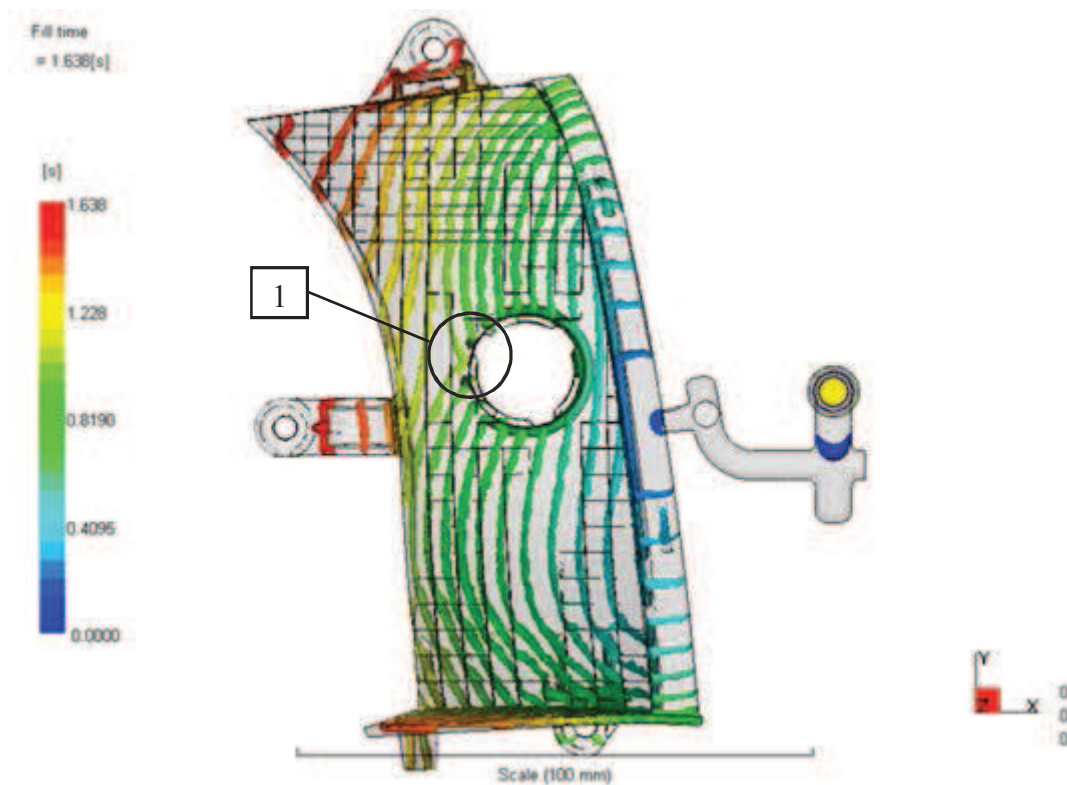
6.3.1 Proces plnění

Z analýzy procesu plnění (obr. 6.11) dutiny formy vyplývá, že je proces vybalancovaný (dochází k rovnoměrnému vyplnění dutiny formy) a plnění proběhne v čase $t_v = 1,638$ s. Tento čas se téměř shoduje s časem vypočítaným (viz kapitola 6.1).



Obr. 6.11 Časový průběh plnění dutiny formy.

Proces plnění nám tedy ukáže, jestli je poloha ústí vtoku vhodně umístěná. Hlavními hodnotícími kritérii jsou především: rovnoměrné vyplnění dutiny formy, akceptovatelná poloha studených spojů (obr. 6.13) a orientace vláken (obr. 6.12).



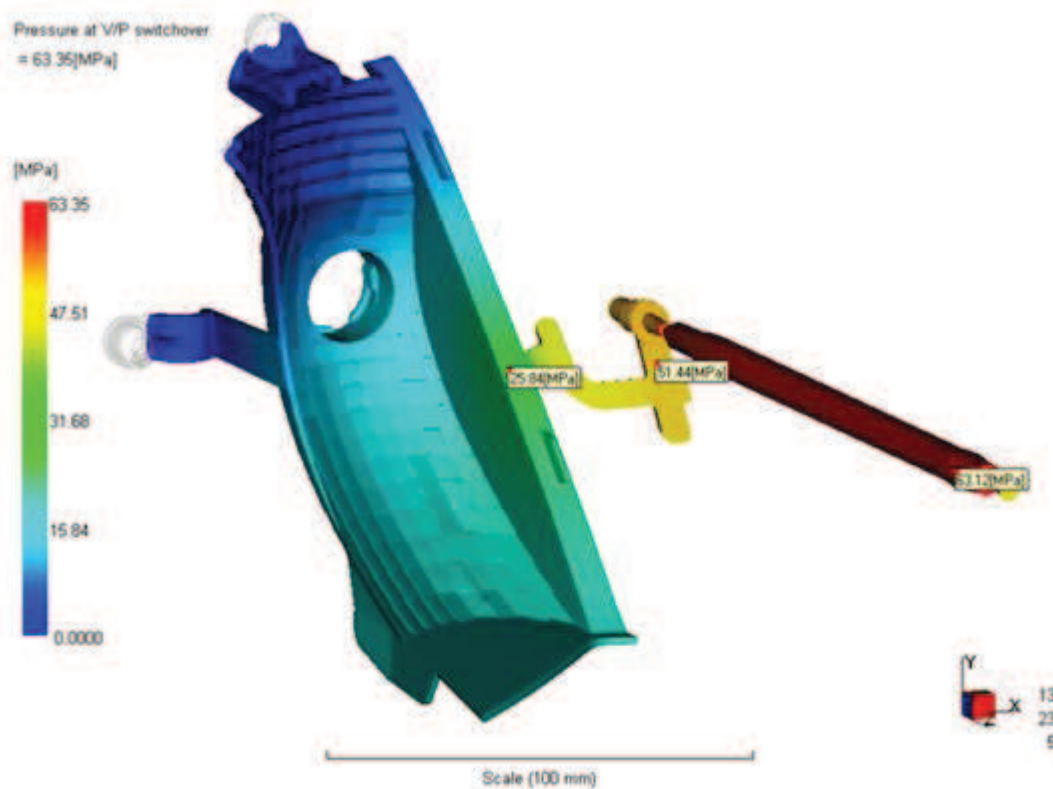
Obr. 6.12 Orientace vláken.



Obr. 6.13 Poloha studeného spoje.

6.3.2 Vstřikovací tlak

Velikost vstřikovacího tlaku v jednotlivých úsecích vstřikovací formy (obr. 6.14) nesmí přesáhnout doporučenou mez 80 MPa. Dle provedené analýzy je výsledek v pořádku.



Obr. 6.14 Velikost vstřikovacího tlaku v jednotlivých úsecích.

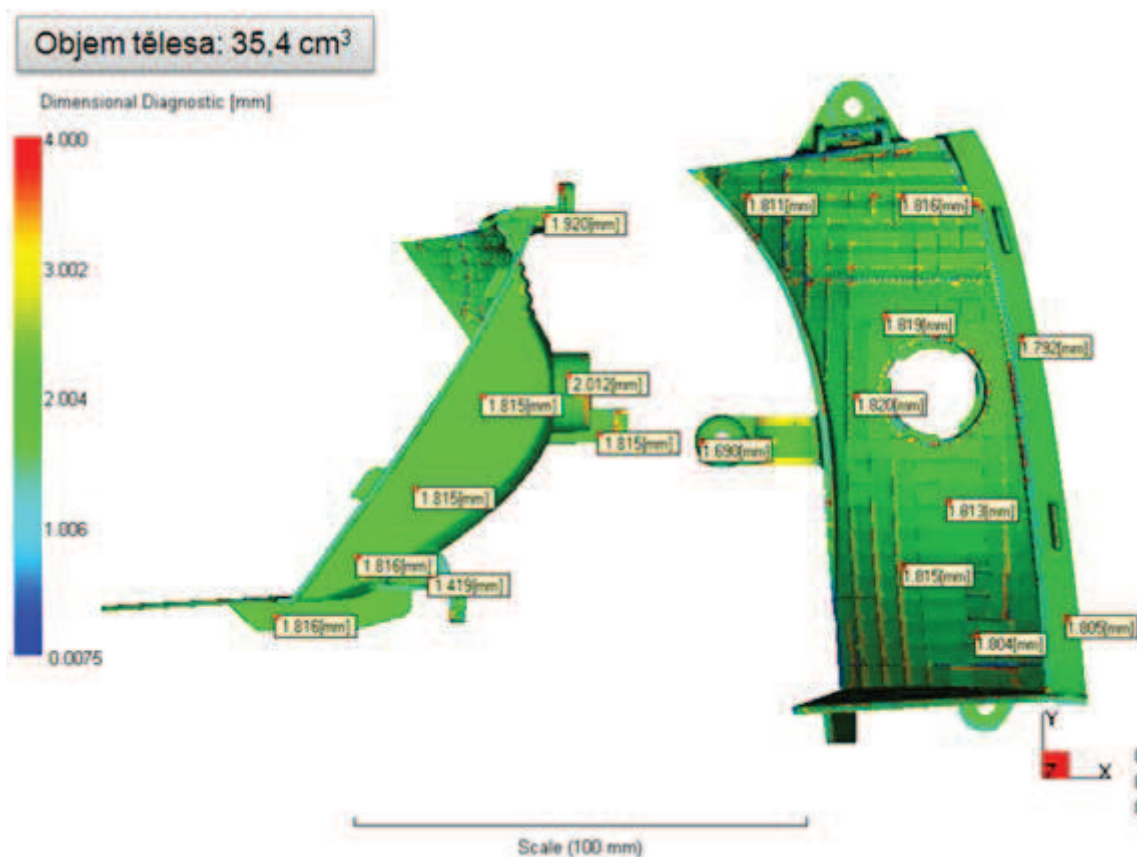
6.3.3 Čas k dosažení teploty pro vyhození výstřiku

Doba pro dosažení ideální teploty k vyjmutí výrobku z dutiny formy je zobrazena na obr. 6.15.



Obr. 6.15 Doba k dosažení teploty pro vyhození výstřiku.

Doba chlazení provedená analýzou se od vypočtené hodnoty (viz kapitola 6.1) liší. Je to způsobeno tím, že ve výpočtech se počítá s konstantní tloušťkou stěny materiálu ($s = 1,8 \text{ mm}$), ale v reálné podobě je tloušťka stěny materiálu v některých místech proměnlivá (obr. 6.16). Zesílení tloušťky stěny musí být z hlediska technologičnosti součásti na místech, kde by hrozilo eventuální poškození výrobku.



Obr. 6.16 Tloušťka stěny materiálu v jednotlivých místech.

Na základě analýzy lze vyhodnotit chladicí systém a při potřebě zkrácení časového intervalu chlazení se například provádí: zavedení dalšího chladicího okruhu, zavedení tepelně vodivých vložek, apod.

Přepočet parametrů závislých na době chlazení

Dle analýzy Moldflow se volí nová doba chlazení $t_K = 17,20$ s.

Výpočet doby vstřikovacího cyklu (vzorec 6.11) [19]:

$$t_C = t_1 + t_2 + t_V + t_K + t_3 + t_4$$

$$t_c = 1,5 + 0,5 + 1,8 + 17,20 + 1,5 + 0,5$$

$$t_C = 23 \text{ s}$$

Výpočet termínové násobnosti formy (vzorec 6.13) [19]:

$$n_t = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{100\,000 \cdot 23}{480 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 1,7 \doteq 2$$

Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje (vzorec 6.15) [19]:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n_t \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_c}$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,18 \cdot (35,4 + 1,4)}{23}$$

$$C_p \geq 15,1 \text{ kg/hod} \doteq 16 \text{ kg/hod}$$

Výpočet doby odformování (vzorec 6.17) [19]:

$$t_E = t_V + t_K = 1,8 + 17,2 = 19 \text{ s}$$

Určení koeficientu K pro výpočet smrštění (vzorec 6.18) [19]:

$$K = 61,366 - 5,574 \cdot \ln t_E$$

$$K = 61,366 - 5,574 \cdot \ln 19$$

$$K = 45$$

Výpočet smrštění materiálu v době odformování (vzorec 6.19) [19]:

$$S_{m(t)} = S_m \cdot \frac{100 - K}{100}$$

$$S_{m(t)} = 0,7 \cdot \frac{100 - 45}{100}$$

$$S_{m(t)} = 0,385 \%$$

Výpočet průchodu materiálu ze stroje do formy (vzorec 6.20) [19]:

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot V_D \cdot \rho}{t_C}$$

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot 82 \cdot 1,18}{23}$$

$$\dot{G} = 15,2 \text{ kg/hod} \approx 16 \text{ kg/hod}$$

Výpočet množství tepla vneseného taveninou plasty do formy (vzorec 6.21) [19]:

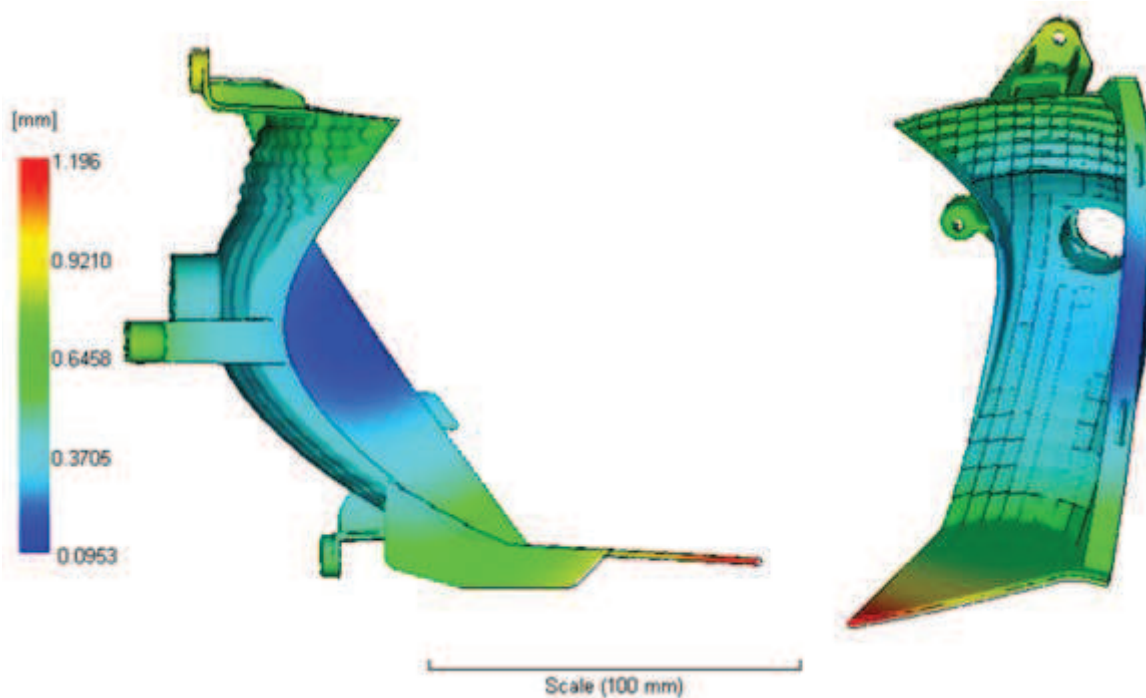
$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h$$

$$Q = 16 \cdot 350$$

$$Q = 5\,600 \text{ kJ/h}$$

6.3.4 Celková deformace

Pomocí analýzy celkové deformace výstřiku (obr. 6.17) můžeme zjistit nejkritičtější místo deformace výrobku a posoudit, jestli je tato deformace přijatelná či není. K nejvýraznější deformaci dochází ve špičce tělesa světlometu, která je na obrázku 6.17 vyznačena červenou barvou. Toto nejkritičtější místo (deformace 1,196 mm) je stále v normě a montáž sestavy světlometu do karosérie automobilu neohroží. Nejméně deformovaná část tělesa světlometu (vyznačena tmavě modrou barvou) se nachází u vtokového ústí.



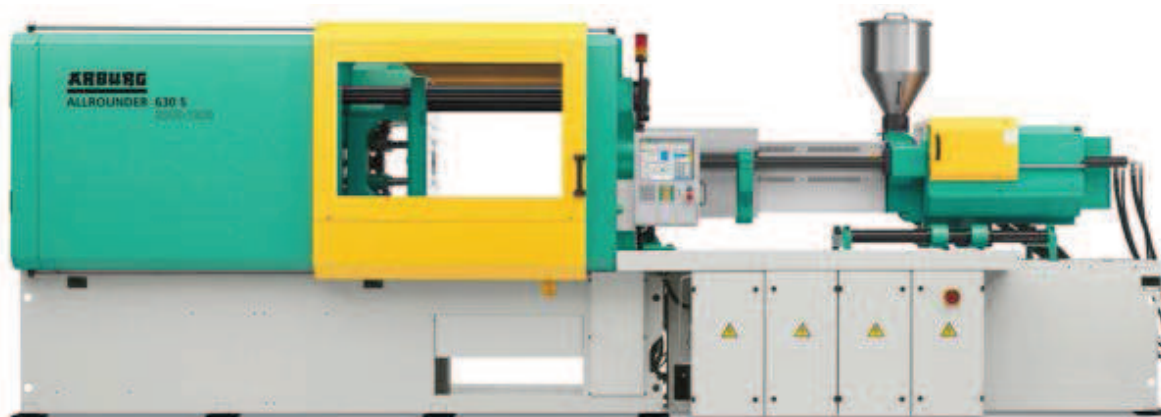
Obr. 6.17 Analýza celkové deformace výstřiku.

6.4 Volba stroje

Volba vstřikovacího stroje je podmíněna mnoha faktory. Z provedených konstrukčně technologických výpočtů (viz kapitola 6.1) mají na volbu stroje největší vliv následující parametry:

- vstřikovací tlak,
- velikost dávky taveniny,
- optimální průměr šneku vstřikovacího stroje,
- uzavírací síla,
- vstřikovací rychlost,
- průchod materiálu ze stroje do vstřikovací formy.

Parametry vstřikovacího stroje (viz tab. 6.5) se musí shodovat s vypočtenými parametry, popřípadě mohou být větší (avšak nikoliv menší). Pro výrobu plastového tělesa světlometu automobilu byl zvolen vstřikovací lis Allrounder 630 S 2500 – 800 (obr. 6.18) od firmy Arburg, který splňuje všechny důležité požadavky. Vstřikovací lis 520 S 1500 – 400 vzhledem k rozměrům formy nesplňuje všechny podstatné požadavky. Podrobnější údaje o lisu Allrounder 630 S 2500 – 800 jsou uvedeny v příloze č. 4.



Obr. 6.18 Vstřikovací lis Allrounder 630 S [20].

Tab. 6.5 Porovnání parametrů stroje 630 S a 520 S, skutečné a žádané [21].

Parametry	Hodnoty lisu		Vypočtené a zvolené hodnoty	Jednotky
	630 S	520 S		
Vstřikovací tlak	max. 2470	max. 1580	1300	bar
Uzavírací síla	2500	1500	1400	kN
Maximální výška formy	700	575	540	mm
Minimální výška formy	300	250	540	mm
Průměr šneku stroje	45	45	45	mm
Vzdálenost mezi sloupky	630 x 630	520 x 520	396 x 596	mm
Maximální otevření	1300	825	800	mm
Objem dávky	max. 318	max. 254	82	cm ³
Plastikační kapacita	max. 46	max. 35	16	kg/hod
Vstřikovací rychlost	max. 242	max. 212	45,6	cm ³ /s

6.5 Technologický postup

Technologický postup výroby plastového tělesa světlometu automobilu je uveden v tab. 6.6.

Tab. 6.6 Technologický postup výroby tělesa světlometu.

Technologický postup				
Č. op.	Pracoviště / Stroj	Nástroj	Popis operace	Parametry
1/9	Sušárna / Sušicí zařízení		sušení granulátu Apec 1695	Teplota sušení: 120 - 130 °C Doba sušení: 3 hodiny
2/9	Lisovna / Allrounder 520 S	Násypka	plnění násypky vstřikovacího stroje granulátem	
3/9	Lisovna / Allrounder 520 S	Ovládací panel stroje	nastavení parametrů stroje pro vstřikování	Výrobní dávka: 82 cm ³ Vstřik. rychlost: 45,6 cm ³ /s Teplota taveniny: 320 °C
4/9	Lisovna / Allrounder 520 S	Vstřikovací forma	uzavření formy	Čas: 1,5 s Uzavírací síla: 700 kN
			přísun vstřikovací jednotky	Čas: 0,5 s
			vyhřátí (temperování) formy	Na teplotu: 120 °C
			vstříknutí taveniny do tvarové dutiny formy	Teplota taveniny: 320 °C Vstřikovací tlak: 130 MPa Čas: 1,8 s
			přepnutí na fázi dotlaku	Dotlak: 40 MPa Čas: 6 s
			chlazení vstřikovací formy	Na teplotu: 120 °C Čas: 17,20 s
			otevření vstřikovací formy	Teplota výstřiku: 130 °C Čas: 1 s
			vyhození výstřiku	Čas: 0,5 s
5/9	Lisovna / Robot	Kleště	transport výstřiku na ruční pracoviště	
	Lisovna / Dopravník	Pás		
6/9	Ruční pracoviště	Ruční nůž	oddělení vtokového zbytku od výrobku	
7/9	Ruční pracoviště		vizuální kontrola výrobku	Opakovatelnost: kontrola každého kusu
8/9	Měřicí středisko		kontrola rozměrů výrobku	Opakovatelnost: na začátku každého uvolnění

Č. op.	Pracoviště / Stroj	Nástroj	Popis operace	Parametry
9/9	Ruční pracoviště		balení do beden	

7 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V této části diplomové práce se provede ekonomické vyhodnocení. Vypočítají se náklady potřebné k výrobě plastového tělesa světlometu automobilu a stanoví se jeho prodejní cena. Velikost výrobní série výstřiku je 100 000 ks/rok (50 000 ks/rok pro pravou stranu světlometu, 50 000 ks/rok pro levou stranu světlometu). Dále se stanoví bod zvratu, podle kterého se vyhodnotí, od jakého množství výroby se vyplatí plastové těleso vyrábět.

Náklady na materiál

$$N_{\text{mat}} = V \cdot \rho \cdot N \cdot A_{\text{appec1695}} + V_{\text{sk}} \cdot \rho \cdot \frac{N}{n_t} \cdot A_{\text{appec1695}} \text{ [Kč]} \quad (7.1)$$

$$N_{\text{mat}} = 35,4 \cdot 1,18 \cdot 10^{-3} \cdot 100\,000 \cdot 126,34 + 2,8 \cdot 1,18 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100\,000}{2} \cdot 126,34$$

$$N_{\text{mat}} = 548\,619 \text{ Kč}$$

kde: $V \text{ [cm}^3\text{]}$	- objem plastového dílce,
$V_{\text{sk}} \text{ [cm}^3\text{]}$	- objem rozváděcí soustavy kanálků,
$\rho \text{ [g/cm}^3\text{]}$	- měrná hustota materiálu (dle tab. 6.1),
$N \text{ [ks]}$	- velikost výrobní série,
$n_t \text{ [-]}$	- násobnost vstřikovací formy,
$A_{\text{appec1695}} \text{ [Kč/kg]}$	- cena materiálu Apec 1695.

Náklady na mzdy

<i>Pracovní doba (jedna směna):</i>	8 hodin
<i>Přestávka:</i>	0,5 hodin
<i>Přípravný čas:</i>	1 hodina
<i>Výrobní čas:</i>	6,5 hodin

Doba vstřikovacího cyklu: $t_c = 23 \text{ s}$

Počet vyrobených kusů za jednu hodinu: $P_{v/h} = 312 \text{ ks/h (156 RE, 156 LE)}$

Počet vyrobených kusů za jednu směnu:

$$P_{v/s} = P_{v/h} \cdot \text{výrobní čas} = 312 \cdot 6,5 = 2\,028 \text{ ks/směna} \quad (7.2)$$

Čas potřebný pro výrobu 100 000 ks:

$$t_{vs} = \frac{N}{P_{v/s}} = \frac{100\,000}{2\,028} = 49,3 \div 50 \text{ směn (400 hodin)} \quad (7.3)$$

Hodinová mzda: 150 Kč/hod

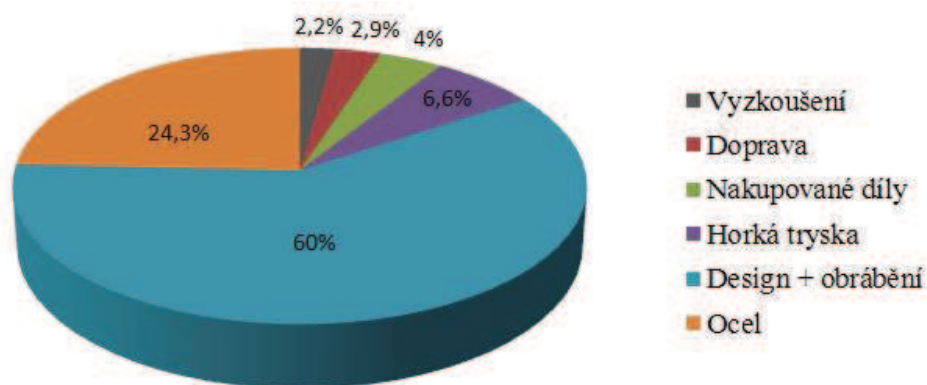
Mzdové náklady:

$$N_{\text{mz}} = t_{vs} \cdot \text{hodinová mzda} = 400 \cdot 150 = 60\,000 \text{ Kč} \quad (7.4)$$

Náklady na vstřikovací nástroj

Na základě poptávky po nákladech na výrobu vstřikovacího nástroje byla stanovena cena formy od firmy KOH-I-NOOR PONAS s.r.o., která nabízí kompletní výrobu vstřikovacích forem včetně tandemových, etážových a mnohonásobných forem. Cenový rozpad nástroje se člení dle obrázku 7.1.

Celkové náklady na výrobu formy (N_{fc}): 1 800 000 Kč [24]



Obr. 7.1 Cenový rozpad vstřikovacího nástroje [24].

Náklady na vstřikovací stroj

Pro výrobu plastového tělesa světlometu byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 630 S od firmy Arburg. Cena stroje se určí dle níže uvedené tabulky 7.1.

Tab. 7.1 Ceny vstřikovacích strojů řady S od firmy Arburg [19].

Typ stroje	Cena (dle rozsahu výbavy)
Allrounder 170 S	924 000 - 1 064 000 Kč
Allrounder 270 S	1 120 000 - 1 288 000 Kč
Allrounder 370 S	1 400 000 - 1 596 000 Kč
Allrounder 470 S	1 736 000 - 1 960 000 Kč
Allrounder 520 S	2 240 000 - 2 520 000 Kč
Allrounder 570 S	2 744 000 - 3 136 000 Kč
Allrounder 630 S	3 360 000 - 3 920 000 Kč
Allrounder 720 S	4 200 000 - 4 900 000 Kč
Allrounder 820 S	5 320 000 - 6 160 000 Kč
Allrounder 920 S	6 440 000 - 7 560 000 Kč

Pořizovací cena vstřikovacího stroje (N_{stc}): 3 600 000 Kč

Vzhledem k tomu, že se počítá s výrobou plastového tělesa světlometu automobilu po dobu sedmi let, počítá se také s využíváním vstřikovacího stroje po dobu minimálně sedmi let. Náklady na vstřikovací stroj se tedy počítají jako 1/7 z pořizovací ceny vstřikovacího stroje, přičemž je ještě započítáno časové využití vstřikovacího stroje k výrobě tělesa světlometu (časové využití stroje k výrobě zadané součásti = 400 hodin/rok).

Náklady na vstřikovací stroj:

$$N_{st} = \frac{N_{stc} \cdot t_{vs}}{7 \text{ let} \cdot 20 \text{ dní/měsíc} \cdot 24 \text{ hod/den} \cdot 12 \text{ měsíců/rok}} [\text{Kč}] \quad (7.5)$$

$$N_{st} = \frac{3\,600\,000 \cdot 400}{7 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 12} = 35\,715 \text{ Kč}$$

Náklady na údržbu vstřikovacího nástroje

Na každých 50 000 ks se počítá s výdaji na údržbu vstřikovacího nástroje. Hodnota údržby nástroje se bere jako 1 % z celkových nákladů na výrobu formy [25].

Údržbové náklady:

$$N_u = N_{fc} \cdot 0,01 \cdot \frac{N}{50\,000} = 1\,800\,000 \cdot 0,01 \cdot \frac{100\,000}{50\,000} = 36\,000 \text{ Kč} \quad (7.6)$$

Náklady na provoz vstřikovacího stroje [25]

$$N_{li} = \frac{P_{li} \cdot N_{en}}{K_{li}} \cdot t_{vs} = \frac{68 \cdot 5}{0,90} \cdot 400 = 151\,111 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

- | | |
|--------------------|---|
| kde: P_{li} [kW] | - celkový příkon vstřikovacího lisu (viz příloha č. 4), |
| N_{en} [Kč/kWh] | - cena elektrické energie [7], |
| K_{li} [-] | - koeficient opotřebení vstřikovacího lisu [19], |
| t_{vs} [h] | - čas potřebný pro výrobu 100 000 ks (dle vzorce 7.3). |

Náklady na režie

Výrobní režie

Jedná se o náklady související s výrobní činností. Jsou to zejména náklady na vytápění, ventilaci, osvětlení, apod. Výrobní režie jsou odhadovány jako 150 % z celkové hodnoty nákladů na mzdy [25].

$$V_r = 1,5 \cdot N_{mz} = 1,5 \cdot 60\,000 = 90\,000 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

Správní režie

Jedná se o náklady související se správou a řízením podniku jako celku. Jsou to zejména náklady na mzdy pro technicko-hospodářské pracovníky (THP) a pracovníky managementu. Dále jsou v této položce zahrnuty související náklady na telefon, zdravotní pojištění, tiskárna, PC, apod. Správní režie jsou odhadovány jako 60 % z celkové hodnoty nákladů na mzdy [25].

$$S_r = 0,6 \cdot N_{mz} = 0,6 \cdot 60\,000 = 36\,000 \text{ Kč} \quad (7.9)$$

Odbytové režie

Jedná se o náklady spojené s odbytovou činností. Jsou to zejména náklady na expedici, mzdu pro odbytového pracovníka, apod. Odbytové režie jsou odhadnuty jako 40 % z celkové hodnoty nákladů na mzdy [25].

$$O_r = 0,4 \cdot N_{mz} = 0,4 \cdot 60\,000 = 24\,000 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

Variabilní náklady

Jedná se o náklady, které jsou závislé na vyráběném objemu produkce (zvyšují se s vyráběným množstvím). Patří sem náklady na přímý materiál, přímé mzdy a ostatní přímé náklady [25].

$$VN = N_{mat} + N_{mz} + N_{li} + N_{ú} \text{ [Kč]} \quad (7.11)$$

$$VN = 548\,619 + 60\,000 + 151\,111 + 36\,000 = 795\,730 \text{ Kč}$$

Fixní náklady

Jedná se o náklady, které nejsou přímo závislé na vyráběném objemu produkce (náklady se nemění s vyráběným množstvím). Patří sem náklady na pronájem výrobních prostor (v tomto případě se náklady na pronájem prostor nezahrnují, výroba se uskuteční v prostorách, které již jsou majetkem firmy), mzdy THP pracovníků, investice do strojů, energie a další [25].

$$FN = N_{fc} + N_{st} + V_r + S_r + O_r \text{ [Kč]} \quad (7.12)$$

$$FN = 1\,800\,000 + 35\,715 + 90\,000 + 36\,000 + 24\,000$$

$$FN = 1\,985\,715 \text{ Kč}$$

Celkové náklady

$$U_n = VN + FN = 795\,730 + 1\,985\,715 = 2\,781\,445 \text{ Kč} \quad (7.13)$$

Roční zisk

Uvažuje se roční zisk ve výši 20 %.

$$Z_R = 0,2 \cdot U_n = 0,2 \cdot 2\,781\,445 = 556\,289 \text{ Kč} \quad (7.14)$$

Náklady na jeden plastový výrobek

$$N_{pv} = \frac{U_n}{N} = \frac{2\,781\,445}{100\,000} = 27,82 \text{ Kč} \quad (7.15)$$

Zisk z jednoho plastového výrobku

$$Z_{pv} = \frac{Z_R}{N} = \frac{556\,289}{100\,000} = 5,56 \text{ Kč} \quad (7.16)$$

Cena jednoho plastového výrobku

$$C_{pv} = N_{pv} + Z_{pv} = 27,82 + 5,56 = 33,38 \text{ Kč} \quad (7.17)$$

Cena jednoho plastového výrobku + 21% DPH

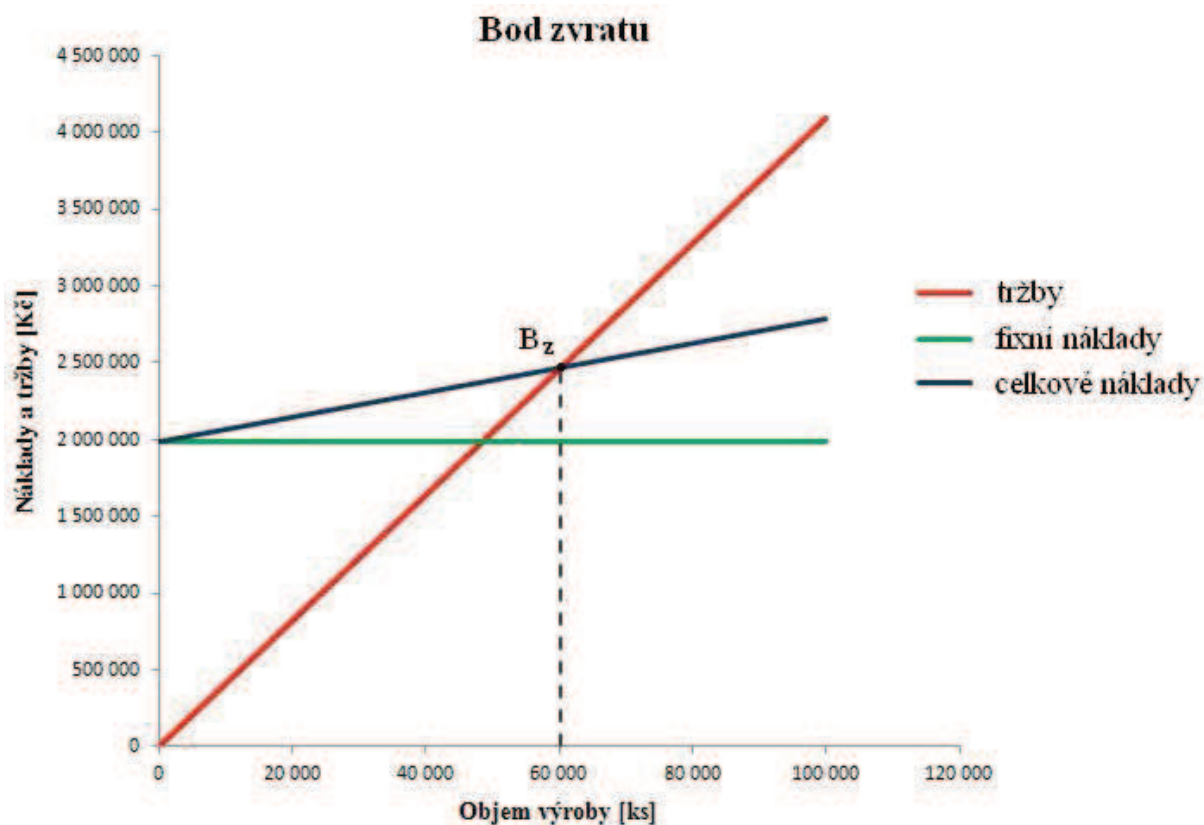
$$C_{pvd} = 1,21 \cdot C_{pv} = 1,21 \cdot 33,38 \doteq 41 \text{ Kč} \quad (7.18)$$

Výpočet bodu zvratu [25]

$$B_z = \frac{FN}{C_{pvd} - \left(\frac{VN}{N}\right)} [\text{ks}] \quad (7.19)$$

$$B_z = \frac{1\,985\,715}{41 - \left(\frac{795\,730}{100\,000}\right)} = 60\,095 \text{ ks}$$

Výstupem analýzy bodu zvratu B_z (obr. 7.2) je zjištění, jaký objem produkce musí podnik vyrobit a zároveň prodat, aby se nedostal do ztrát. Aby byla výroba plastového tělesa světlometu automobilu zisková a firmě se vyplatila, je potřeba tento bod zvratu překročit. Vzhledem ke stanovené výrobní sérii 100 000 ks/rok je podle výpočtu 7.19 (výpočet bodu zvratu) evidentní, že je výroba tělesa ekonomicky vyhovující.

Obr. 7.2 Bod zvratu B_z .

8 ZÁVĚR

V diplomové práci byla řešena výroba plastového tělesa světlometu automobilu, jehož funkčnost spočívá především v upevnění celé sestavy světlometu ke karosérii automobilu. Výstřík byl vyráběn z vysokoteplotního polykarbonátu Apec 1695 o tloušťce stěny 1,8 mm. Velikost výrobní série byla stanovena na 100 000 ks/rok.

Výrobu tělesa světlometu lze realizovat několika možnými způsoby, například lisováním, přetlačováním, nebo vstřikováním. Z uvedených technologií, vzhledem k tvarové složitosti dílce, výrobní sériovosti, úspoře zpracovávaného materiálu, délce výrobního cyklu a požadavkům na rozměrovou přesnost, byla zvolena technologie vstřikování. Výroba byla provedena na vstřikovacím nástroji, u kterého byla dle provedených výpočtů zvolena dvojitá násobnost formy. Vstřikovací forma také obsahuje vzhledem k tvarové složitosti výrobku pohyblivé vložky (boční jádra), které se pohybují ve vodicích pouzdrech pomocí šikmých vodicích kolíků. Na základě provedeného výpočtu byl dále zvolen vyhřívaný vtokový systém v kombinaci se studenými rozváděcími kanálky. Navržená konstrukce vstřikovacího nástroje je uvedena ve výkresové dokumentaci.

Pro výrobu plastového tělesa světlometu automobilu byl na základě konstrukčně technologických výpočtů a parametrů navržené konstrukce vstřikovacího nástroje zvolen vstřikovací lis Allrounder 630 S 2500 – 800 od firmy Arburg, který splňuje všechny důležité požadavky.

Na závěr bylo provedeno ekonomické vyhodnocení, které obsahuje náklady spojené s pořízením vstřikovacího stroje, nástroje, cenu jednoho plastového výrobku (41 Kč) a bod zvratu (60 095 ks), který je potřeba překročit, aby byla výroba tělesa světlometu zisková. Vzhledem ke stanovené velikosti výrobní série je tedy evidentní, že zvolená technologie vstřikování je ekonomicky vyhovující.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 2001. 2 sv. ISBN 80-86229-15-7.
2. LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovu a zpracování plastů* [online]. Liberec [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
3. Autodily-Autoservis. *Náhradní díly a doplňky všech značek* [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.autodily-zde.cz/>
4. Tuning-IN. *Nové plastové nárazníky* [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.tuning-in.cz/novinky/detail/nove-plastove-narazniky-pro-vw-golf-iv-vw-passat.htm>
5. Autofashion.cz, Autodoplňky. *Ozdobné kryty kol* [online]. 2001 - 2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.autofashion.cz/zbozi/produkt-36046/poklice-na-kola-16-stibrne-paprsky-kryty-kol-sada-4-kusy.html>
6. Fortell s.r.o. *Vstřikování plastových výrobků* [online]. 2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/vstrikovani-plastu>
7. Automotive Lighting s.r.o. *O společnosti* [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.al-lighting.cz/cs#s-3>
8. Wikipedie. *Automotive Lighting* [online]. 2014 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Automotive_Lighting
9. Automotive Lighting s.r.o. *WCM - NVAA: interní školicí prezentace*. 2010 [cit. 2015-02-25]
10. Asyndar s.r.o. *Princip vstřikování plastů* [online]. 2013 [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: <http://www.asyndar.com/Pages/vstrikovani-princip.aspx>
11. 14220.cz, Teorie strojírenské technologie. *Tváření plastů a výroba forem I*. [online]. 2014 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-i/>
12. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
13. Ateam.zcu, Plasty. *Tvar makromolekul* [online]. 1998 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf>
14. 14220.cz, Teorie strojírenské technologie. *Tváření plastů a výroba forem II*. [online]. 2014 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>
15. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 1. vyd. Praha: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 228 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
16. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy* [online]. VUT Brno [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
17. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 2001. 1 sv. ISBN 80-86229-15-7.

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List
---------	-----------------	------

18. Campus® - Datasheet. *Apec® 1695 – PC* [online]. 2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/material/pdf/267561/Apec1695?sLg=en>
19. KANDUS, Bohumil. *HTZ - Technologie zpracování plastů: Přednášky a cvičení*. 2014 Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno.
20. Arburg. *Vstřikovací stroje - Allrounder 630 S* [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.arburg.com/press/press-releases/bulletin/nl/3866/>
21. Arburg. *Údaje o vstřikovacích strojích* [online]. 2014 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_630S_TD_523026_en_GB.pdf
22. MM Průmyslové spektrum. *Výroba forem pro vstřikování plastů* [online]. 2003 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-form-pro-vstrikovani-plastu-2.html>
23. Synventive Molding Solutions s.r.o. *Vyhřívaná vstřikovací tryska 12SI25TTP* [online]. [cit.2015-03-13]. Dostupné z: http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/CAT-01-0047_EN.pdf
24. KOH-I-NOOR PONAS s.r.o. *Výroba vstřikovacích forem* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.ponas.cz/vstrikovaci-formy.html>
25. SYNEK, Miloslav. *Výpočet v ekonomice a řízení průmyslového podniku*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury - SNTL, 1984. 253 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
$A_{12S125TTP}$	cena vyhřívané vstřikovací tryska 12S125TTP	[Kč]
$A_{apc1695}$	cena materiálu Apec 1695	[Kč/kg]
A_{proj}	plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy	[cm ²]
B_z	bod zvratu	[ks]
C_p	minimální plastikační kapacita vstřikovacího stroje	[kg/hod]
C_{pv}	cena jednoho plastového výrobku	[Kč]
C_{pvd}	cena jednoho plastového výrobku + 21% DPH	[Kč]
C_v	minimální vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje	[cm ³]
D_K	průměr rozváděcího kanálku	[mm]
D_S	optimální průměr šneku vstřikovacího stroje	[mm]
FN	fixní náklady	[Kč]
F_P	uzavírací síla	[kN]
F_{Pr}	minimální přidržovací síla vstřikovacího stroje	[kN]
G	hmotnost plastového dílce	[g]
\dot{G}	průchod materiálu ze stroje do formy	[kg/h]
K	koeficient pro výpočet smrštění	[-]
K_a	faktor navýšení objemu taveniny	[g/cm ³]
K_f	faktor schopnosti tečení	[bar/mm]
K_{li}	koeficient opotřebení vstřikovacího lisu	[-]
$K_{pč}$	faktor využití pracovního času	[-]
L	maximální výpočtová délka dráhy toku taveniny	[mm]
L_K	délka rozváděcího kanálku	[mm]
L_S	délka dráhy pohybu šneku	[mm]
N	velikost výrobní série	[ks]
N_{en}	cena elektrické energie	[Kč/kWh]
N_{fc}	celkové náklady na výrobu formy	[Kč]
N_{li}	náklady na provoz vstřikovacího stroje	[Kč]
N_{mat}	náklady na materiál	[Kč]
N_{mz}	náklady na mzdy	[Kč]
N_{pv}	náklady na jeden plastový výrobek	[Kč]
N_{st}	náklady na vstřikovací stroj	[Kč]
N_{stc}	pořizovací cena vstřikovacího stroje	[Kč]
$N_{\dot{u}}$	náklady na údržbu vstřikovacího nástroje	[Kč]
N_{vk}	cena materiálu vtokového zbytku	[Kč]
O_r	odbytová režie	[Kč]
P_{li}	celkový příkon vstřikovacího lisu	[kW]
$P_{v/h}$	počet vyrobených kusů za jednu hodinu	[ks/h]
$P_{v/s}$	počet vyrobených kusů za jednu směnu	[ks/směna]
Q	množství tepla vneseného taveninou plastu do formy	[kJ/h]
S_m	celkové smrštění materiálu	[%]
$S_{m(t)}$	smrštění materiálu v době odformování	[%]
S_r	správní režie	[Kč]

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List
---------	-----------------	------

T_E	teplota odformování	[°C]
T_F	teplota formy	[°C]
T_M	teplota materiálu	[°C]
U_n	celkové náklady	[Kč]
V	objem plastového dílce	[cm ³]
V_D	velikost dávky taveniny	[cm ³]
V_K	objem rozváděcího kanálku formy	[cm ³]
V_N	variabilní náklady	[Kč]
V_r	výrobní režie	[Kč]
V_{sk}	objem rozváděcí soustavy kanálků	[cm ³]
V_{vk}	objem vtokového kůlu	[cm ³]
Z_{pv}	zisk z jednoho plastového výrobku	[Kč]
Z_R	roční zisk	[Kč]
a_{eff}	efektivní teplotní vodivost	[mm ² /s]
f	koeficient tření	[-]
f_C	délka dráhy toku taveniny	[mm]
m	koeficient rovnice dráhy toku	[-]
n	exponent rovnice dráhy toku	[-]
n_p	praktická násobnost formy	[-]
n_S	otáčky šneku vstřikovacího stroje pro plastikaci	[min ⁻¹]
n_t	termínová násobnost formy	[-]
p_a	tváreční tlak	[MPa]
p_d	dotlak	[MPa]
p_f	minimální plnicí tlak	[MPa]
p_v	vstřikovací tlak	[MPa]
p_z	zpětný tlak	[MPa]
s	tloušťka stěny plastového dílce	[mm]
t_1	uzavření formy	[s]
t_2	přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
t_3	otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_4	prodleva	[s]
t_C	doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_E	doba odformování	[s]
t_K	doba chlazení	[s]
t_V	doba vstřikování	[s]
t_{vs}	čas potřebný pro výrobu 100 000 ks	[h]
v	max. obvodová rychlost šneku	[m/s]
v_S	vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
η	viskozita při smykové rychlosti 1000 s ⁻¹	[Pa·s]
τ_p	požadovaný termín splnění objednávky	[hod]
ρ	měrná hustota materiálu	[g/cm ³]
Δh	rozdíl entalpií	[kJ/kg]
π	matematická konstanta	[-]
μ	poissonovo číslo	[-]

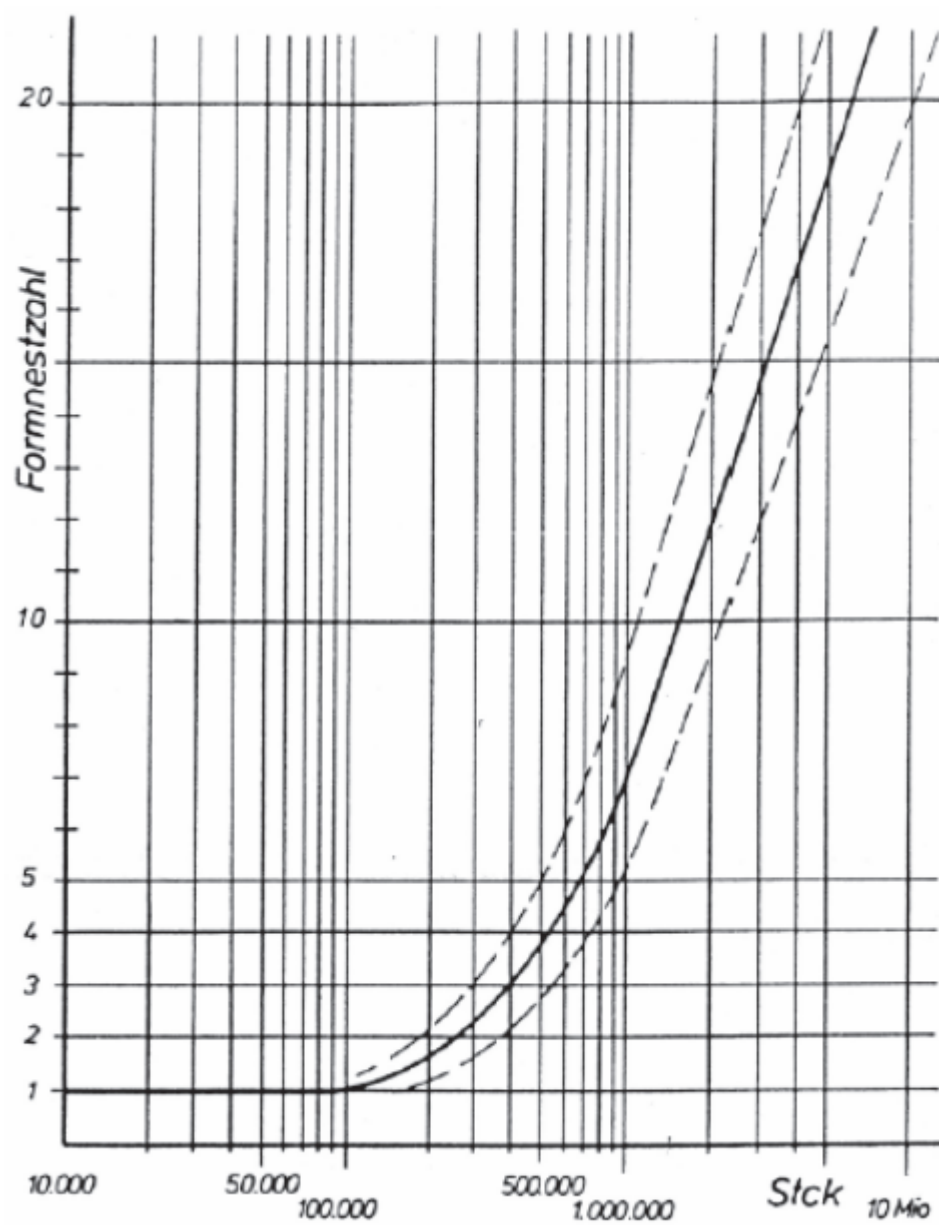
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Graf pro určení násobnosti formy
Příloha 2	Materiálový list – Apec 1695
Příloha 3	Údaje o vstřikovací trysce 12S125TTP
Příloha 4	Údaje o lisu Allrounder 630 S

SEZNAM VÝKRESŮ

Výrobní výkres součásti „těleso světlometu“	2015-DP-133782-TS-01
Výrobní výkres tvárníku vstřikovací formy	2015-DP-133782-T-01
Výkres sestavy vstřikovací formy	2015-DP-133782-V-00
Kusovník	2015-DP-133782-V-00

PŘÍLOHA 1 – GRAF PRO URČENÍ NÁSOBNOSTI FORMY [19]



CAMPUS® Datasheet

Apec® 1695 - PC
Bayer MaterialScience



Bayer MaterialScience

Product Texts

- MVR (330°C/2.16kg) 45 cm³/10 min
- easy release
- softening temperature (VST/B 120)=158 °C
- Covers for brake lights and indicator lights
- Headlamp reflectors/bezels

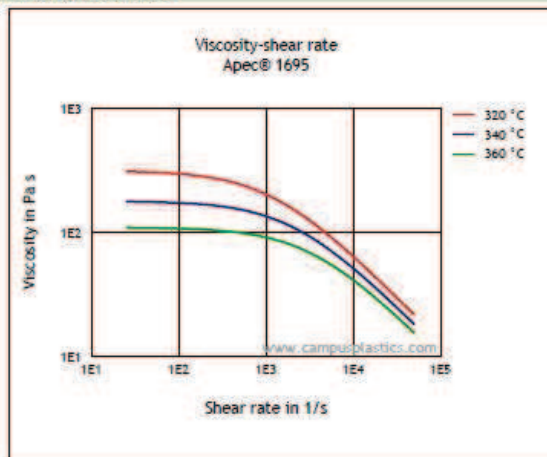
Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	45	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	330	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2400	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	68	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	6.2	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	>50	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Puncture - maximum force, +23°C	5200	II	ISO 6603-2
Puncture - maximum force, -30°C	6200	II	ISO 6603-2
Puncture energy, +23°C	54	J	ISO 6603-2
Puncture energy, -30°C	66	J	ISO 6603-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	138	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	150	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5	mm	IEC 60695-11-10
Oxygen index	26	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	3	-	IEC 60250
Relative permittivity, 1MHz	2.9	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	10	E-4	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	90	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 60093
Electric strength	35	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	250	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	0.3	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.12	%	Sim. to ISO 62
Density	1180	kg/m ³	ISO 1183
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	1010	kg/m ³	-

Apec® 1695 - PC
Bayer MaterialScience

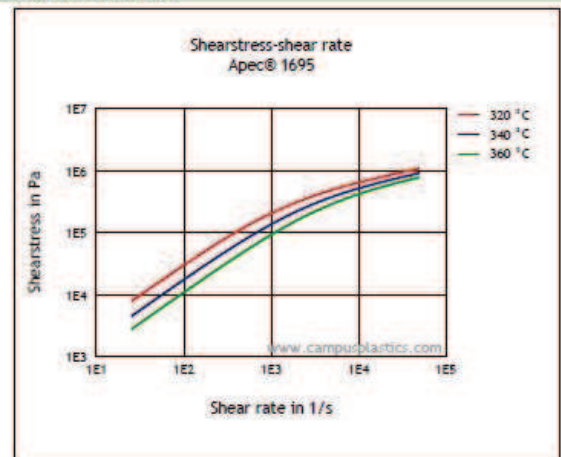
Thermal conductivity of melt	0.211	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2100	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	1E-7	m ² /s	-
Ejection temperature	138	°C	-
Test specimen production			
Injection Molding, melt temperature	330	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	100	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Diagrams

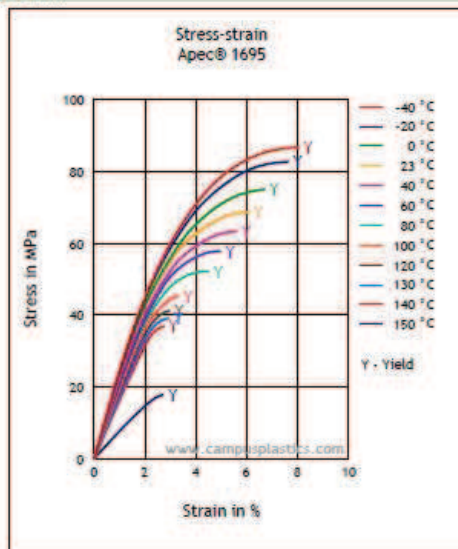
Viscosity-shear rate



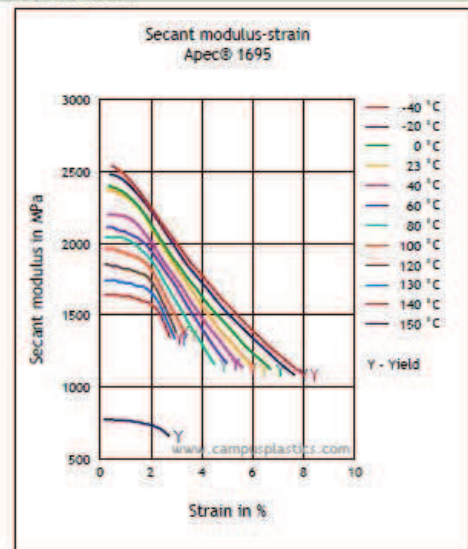
Shearstress-shear rate



Stress-strain



Secant modulus-strain



Apec® 1695 - PC
Bayer MaterialScience

Characteristics

Processing
 Injection Molding

Special Characteristics
 Transparent

Delivery form
 Pellets

Regional Availability
 North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America,
 Near East/Africa

Additives
 Release agent

Other text information

Injection molding

PREPROCESSING

Max. Water content: 0.02 %

Drying temperature: 130 °C

Drying time:

Circulating air drying oven (50 % fresh air) 4-12 h

Fresh air dryer (high speed dryer) 2-4 h

Dry air dryer 2-3 h

PROCESSING

Melt temperature: 320 - 340 °C

Mold temperature: 100 - 120 °C

Use open nozzle.

Bayer MaterialScience AG

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

BMS Medical Grades

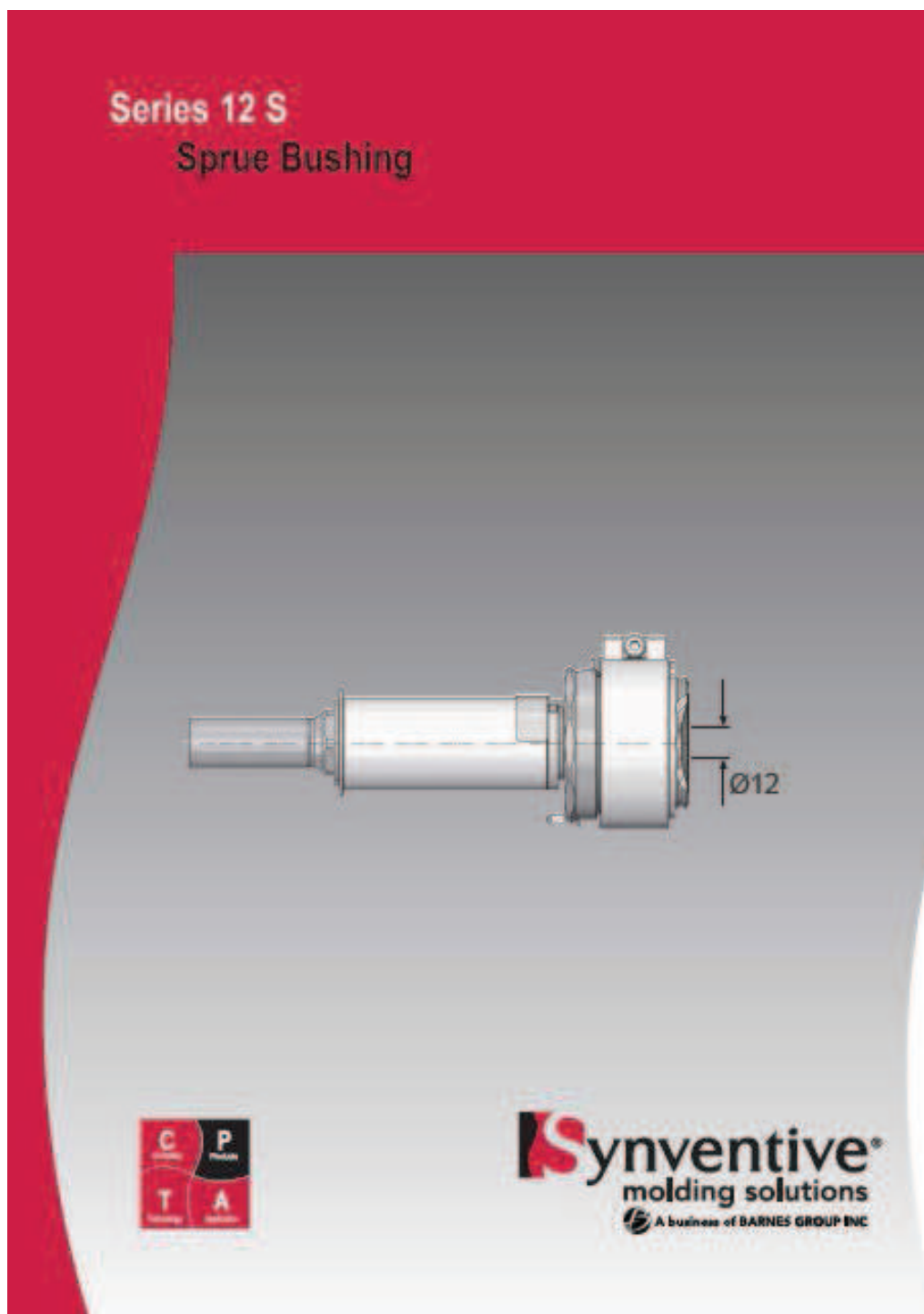
BMS Products that are designated as "Medical Grade", e.g., plastics, sheets, and films, meet certain biocompatibility test requirements of ISO Standard 10993-1: "Biological Evaluation of Medical Devices" for the categories including: (1) skin contact, (2) up to 24 hours contact with circulating blood, tissue, bone, and dentin, (3) up to 30 days contact with mucosal membranes, compromised surfaces, and blood path, indirect. BMS Products designated as "Medical Grade" shall not be considered candidates for the following types of Medical Applications unless BMS explicitly agrees, in writing, to sell such products for such applications: (a) cosmetic, reconstructive, or reproductive implant applications; (b) any other bodily implant applications; (c) applications involving contact with or storage of human tissue, blood, or other bodily fluids, for greater than 30 days; or (d) applications having greater than 24 hours contact with circulating blood, tissue, bone and dentin. The biocompatibility testing referenced above cannot assure the biocompatibility of final or intermediate products made from BMS Products or the suitability of such products for their use in a Medical Application, i.e., the test data cannot be used to conclude that any medical devices manufactured from the BMS Products meet the necessary requirements of ISO Standard 10993-1. It is the sole responsibility of the manufacturer of final end-use product to conduct all necessary tests (including biocompatibility tests) and inspections and to evaluate the final product under actual end-use requirements. The designation as "Medical Grade" does not mean that BMS or anyone else has determined that the product is suitable for use in any particular Medical Application. BMS makes no representations regarding the suitability of a BMS Product for a particular Medical Application or final end-use product. A determination that the BMS Product is suitable for use in a particular Medical Application or final end-use product can only be made by the purchaser of the BMS product who utilizes it in a Medical Application and conducts all necessary testing and evaluation to support such a determination.

Appropriate Use of BMS Products in a Medical Application

Apec® 1695 - PC
Bayer MaterialScience

BMS has not performed clinical medical studies concerning the use of BMS Products. Moreover, BMS has neither sought nor received approval from the United States Food and Drug Administration (FDA) or other competent authorities from other regions for the use of BMS Products in a Medical Application. BMS makes no representations or warranty regarding (and accepts no responsibility for determining) either: (a) the suitability of a BMS Product for a particular Medical Application or final end-use product or (b) the adequacy of any warning relating to a BMS Product or particular Medical Application or final end-use product. The suitability of BMS Products in a given end-use environment is dependent upon various conditions including, without limitation, chemical compatibility, method of manufacture, temperature, part design, sterilization method, residual stresses, and external loads. It is the sole responsibility of the manufacturer of the final end-use product to determine the suitability (including biocompatibility) of all raw materials and components, including any BMS Products, in order to ensure that the final product: - meets relevant biocompatibility requirements and is otherwise safe for its end-use, - performs or functions as intended, - is suitable for its intended use, and - complies with all applicable FDA and other regulatory requirements. It also is the sole responsibility of the manufacturer of the final end-use product to conduct all necessary tests and inspections and to evaluate the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers, users, and/or learned intermediaries (such as physicians) of pertinent risks and fulfill any postmarket surveillance obligations. Any decision regarding the appropriateness of a particular medical product in a particular clinical or Medical Application should be based on the judgment of the manufacturer, seller, the competent authority, and the treating physician. BMS cannot weigh the benefits against the risks of a medical device and cannot offer a medical or legal judgment on the safety or efficacy of the use of a BMS Product in a specific Medical Application. Terms in capital letters as used herein shall have the same meaning as defined in the "GUIDANCE ON USE OF BAYER MATERIALSCIENCE PRODUCTS IN A MEDICAL APPLICATION" which can be found under ([see here](#)). It is the customer's responsibility to thoroughly review the Guidance Document in detail and to diligently consider its content prior to any use of BMS Products in Medical Applications. For further information on our Medical Grades please see our brochure "Makrolon, Apec and Bayblend for medical devices".

www.bayerplastics.com



Product Type

Hot runner nozzles in the 12 S range;
 → Nozzle size 12: Flow bore - Ø 12 mm
 → Nozzle style S: Sprue bushing

Different gate options can be implemented, see table on right.

Major Dimensions (mm)

J	Flow bore	Ø 12
Jib1	Flow bore inlet bushing	Ø 10
L	Nozzle length	60...650 ¹⁾
F	Tip Extension	see right
D	Cut-out	Ø 35
Dt	Tip Ø	see right
H	Gate Orifice	see right
K	Head height	40
Dk	Head diameter	Ø 55
Ls	Depth of head centering	10
Ds	Diameter of head centering	Ø 52
R	Nozzle contact radius	0...40
AD	Nozzle contact angle	90°...120°

Application

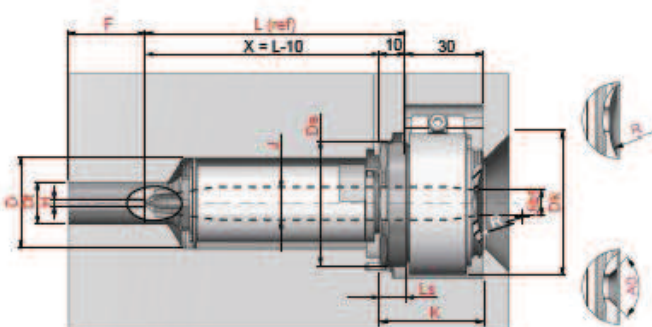
For all usual thermoplastics Max. shot weight per nozzle (g):
 → 1500 (open, low viscosity)

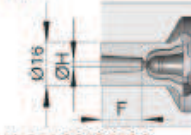
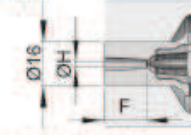

Heating

→ externally heated, 230 V AC
 → replaceable heater & thermocouple
 → Nozzle heater zones, 300...870 W
 → Head heater, 630 W
 Thermocouples, EN 60584
 Fe-Cu/Ni 0 = Typ J; NiCr-Ni = Typ K

¹⁾ Standard lengths shown, consult Synventive for custom lengths.

Illustrations simplified, schematically drawn and not to scale. All dimensions in mm.

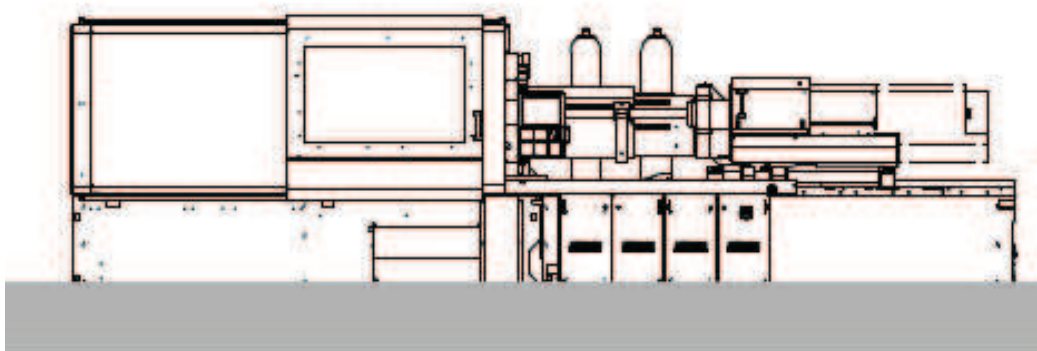


Tip Shape	Available nozzle tip types for this series	
	Gating of nozzle tip	
Plunged through (P)	Full Flow (F)	Torpedo (T)
	 H: 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 F: 0 / 30	 H: 2.0 / 2.5 / 3.0 / 3.5 F: 0 / 30
Blind (W)	 H: 2.0 / 2.5 / 3.0 / 3.5	

Lenght code	L (mm)	Heater zone power (Watt)	Lenght code	L (mm)	Heater zones power ²⁾ (Watt)
One control area (thermo couple)			Two control areas (thermo couple)		
060	60	300W	250	250	300W
080	80	300W	275	275	300W
100	100	337W	300	300	300W
125	125	337W	325	325	300W
150	150	375W	350	350	300W
175	175	375W	375	375	300W
200	200	417W	400	400	300W
225	225	417W	425	425	300W
			450	450	300W
			475	475	300W
			500	500	300W
			525	525	300W
			550	550	300W
			575	575	300W
			600	600	300W
			625	625	300W
			650	650	300W
					230W
					230W
					310W
					310W
					390W
					390W
					470W
					470W
					550W
					550W
					630W
					630W
					710W
					710W
					790W
					790W
					870W

²⁾ The numbering of the heating zones starts at the nozzle tip and ends at the nozzle head.

Facts and figures



ALLROUNDER 630 S

Distance between tie bars: 630 x 630 mm

Clamping force: 2500 kN

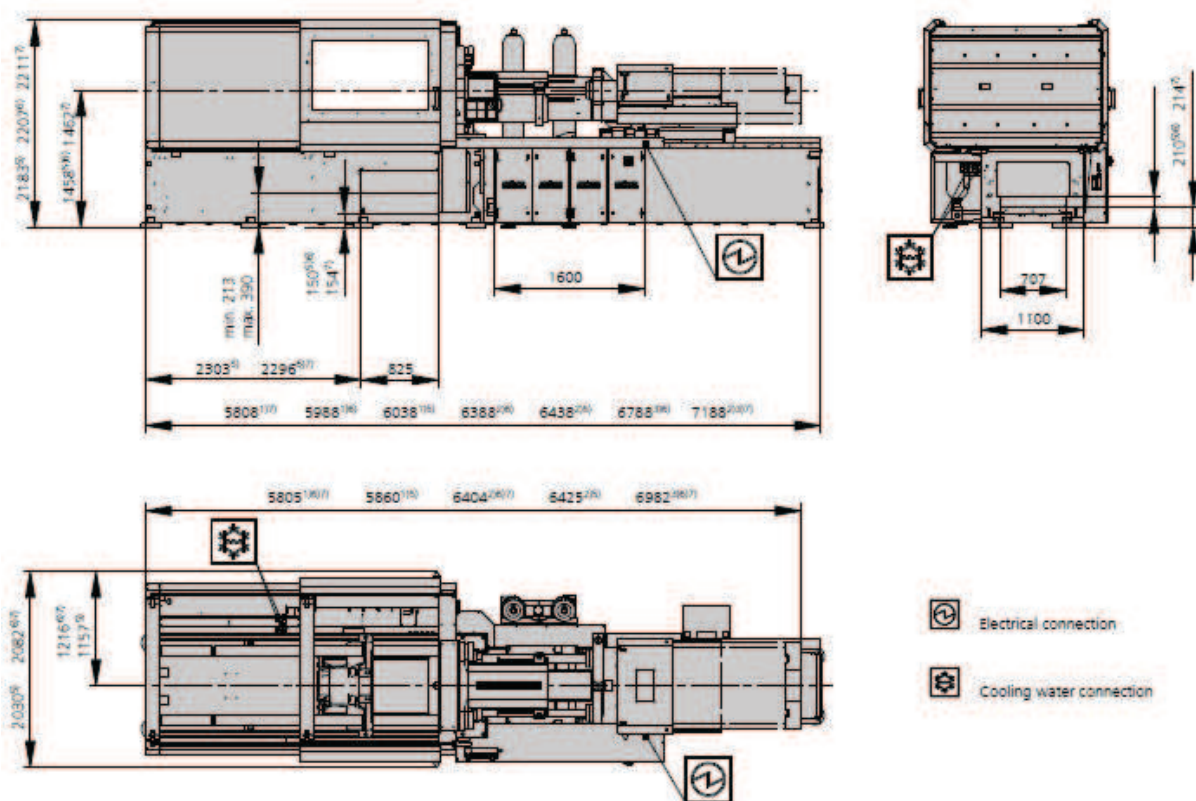
Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

ARBURG

www.arburg.com

630 S |

Machine dimensions



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100
- 4) Conveyor belt
- 5) 1 pump
- 6) 2 pumps
- 7) Accumulator

Technical data

630 S

Clamping unit			630 S	
with clamping force	max. kN		2500	
Opening force stroke	max. kN mm		725 600	
Mould height, fixed variable	min. mm		550 300	
Platen daylight fixed variable	max. mm		1150 900-1300	
Distance between tie bars (w x h)	mm		630 x 630	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		900 x 900	
Weight of movable mould half	max. kg		2500	
Ejector force stroke	max. kN mm		90 225	
Dry cycle time EUROMAP 2	1 pump	min. s - mm	3,8 - 441	
	2 pumps	min. s - mm	2,3 - 441	
	Accum.	min. s - mm	1,7 - 441	

Injection unit			800			1300			2100		
with screw diameter	mm		45	50	55	55	60	70	60	70	80
Effective screw length	L/D		22	20	18	22	20	17	23	20	17,5
Screw stroke	max. mm		200			235			280		
Calculated stroke volume	max. cm³		318	392	474	558	664	904	792	1078	1407
Shot weight	max. g PS		291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Material throughput	max. kg/h PS		46	53	59	66	76	115	125	145	175
	max. kg/h PA6.6		23	27	30	43	48	58	62	74	88
Injection pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar		2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530
Injection flow 2	1 pump	max. cm³/s	242	300	364	238	284	388	—		
	2 pumps	max. cm³/s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm³/s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed 2	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	—		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm		880			1510	1640	1920	2140	2500	2550
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		70 400			90 550			110 600		
Heating capacity zones	kW		19,9 8			22,9 8			31,4 8		
Feed hopper	l		—			—			—		

Drive and connection			1 pump (servo)			2 pumps			Accum.		
with injection unit			800	1300		800	1300	2100	800	1300	2100
Net weight of machine	kg		12200	12500		12200	12500	13200	—		
Emiss. sound press. level DIN EN 2011:1997	dB(A)		< 65			73 +3			< 70		
Oil filling	l		380			320	390	490	390	490	490
Drive power 2	max. kW		45	45		45	45	55	30	37	45
Electrical connection 3		kW	68	74		68	71	89	53	63	70
	Total	A	—			—			—		
	Machine	A	125	125		100	100	125	80	100	125
	Heating	A	30	30		35	35	30	25	35	30
Cooling water connection	max. °C		30			30			30		
	min. Δp bar		1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 G 2"		

Machine type

with EUROMAP size designation 1	Drive
630 S 2500-800	1 2 Accum.
630 S 2500-1300	1 2 Accum.
630 S 2500-2100	~ 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow, may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

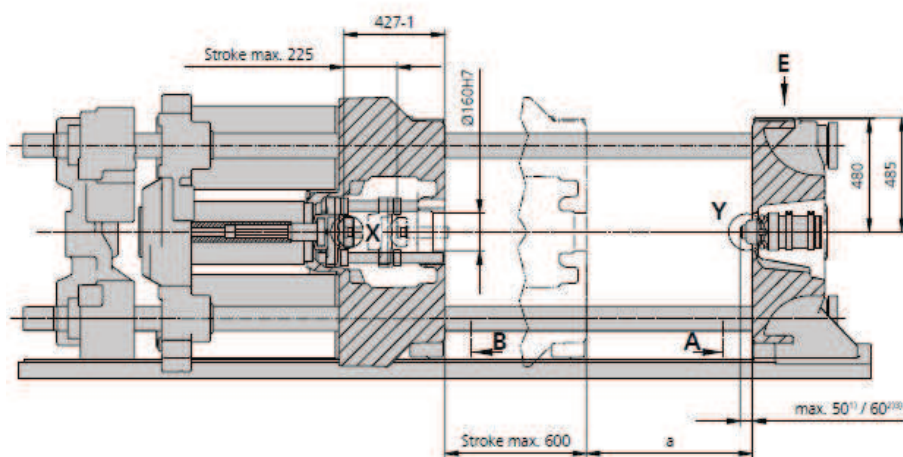
2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

[] Specifications apply to alternative equipment.

630 S

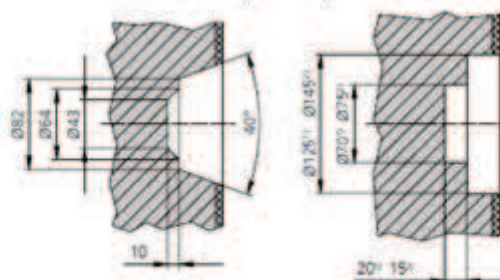
Mould installation dimensions



a min.	Mould installation height	
	1 pump	2 pumps, Accumulator
Fixed	550 (350)	(400, 500, 600, 700)
Variable	(300-700)	300-700

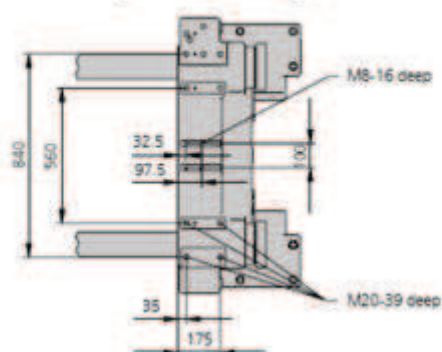
Value in brackets: option

Bore in mould (if required) | Y

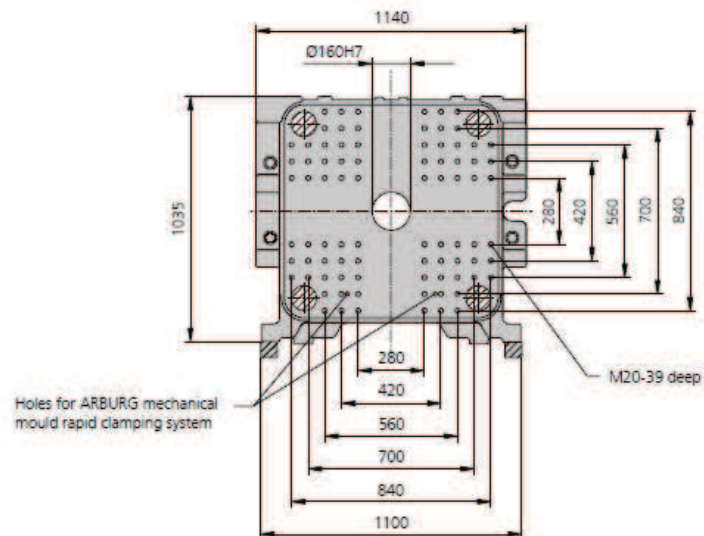


in thermoset version-
Injection unit 2100 available on request

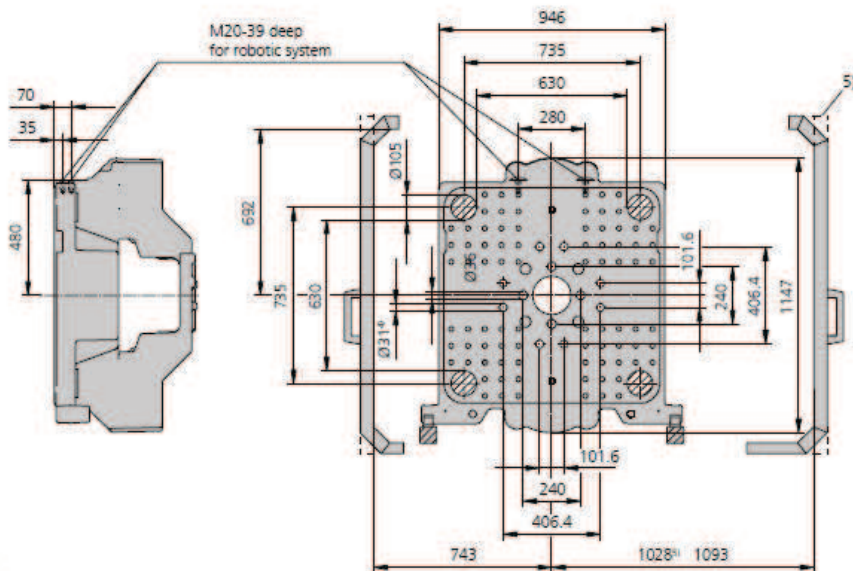
Robotic system mounting | E



Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B

4) Guide $\varnothing 27$

5) Machine types with 1 pump

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS ¹⁾	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6, PA 6 ¹⁾	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10, PA 11 ¹⁾	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P ¹⁾	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value